

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Yuji TOCHIO, et al.

Application No.: TBA

Group Art Unit: TBA

Filed: August 20, 2003

Examiner: TBA

For: CONTROL APPARATUS AND CONTROL METHOD OF OPTICAL SIGNAL
EXCHANGER

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicants submit herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2002-242290

Filed: August 22, 2002

It is respectfully requested that the applicants be given the benefit of the foreign filing date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: 8-19-03

By: 

John C. Garvey
Registration No. 28,607

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-242290

[ST.10/C]:

[JP2002-242290]

出 願 人

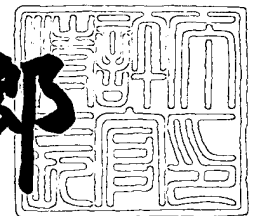
Applicant(s):

富士通株式会社

2003年 1月 7日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2002-3103495

【書類名】 特許願

【整理番号】 0250603

【提出日】 平成14年 8月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/08

【発明の名称】 光信号交換器の制御装置および制御方法

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 栃尾 祐治

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 森 和行

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 山端 徹次

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 渡辺 一郎

【発明者】

【住所又は居所】 福岡県福岡市博多区博多駅前三丁目22番8号 富士通九州デジタル・テクノロジー株式会社内

【氏名】 石井 祐二

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社
【代理人】
【識別番号】 100078330
【弁理士】
【氏名又は名称】 笹島 富二雄
【電話番号】 03-3508-9577
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 009232
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9719433
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光信号交換器の制御装置および制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射面の角度が制御可能な複数のティルトミラーを平面上に配置した第 1 ミラーアレイおよび第 2 ミラーアレイを有し、入力された光信号を前記第 1 および第 2 ミラーアレイで順次反射して特定の位置から出力する光信号交換器について、該特定の位置から出力される光信号のパワーを検出し、該検出結果に基づいて、前記第 1 および第 2 ミラーアレイ上の前記光信号を反射したティルトミラーのうちの少なくとも一方の反射面の角度をフィードバック制御する制御装置であって、

前記フィードバック制御のために用いられる制御信号に含まれる前記ティルトミラーの機械的な共振動作に対応した周波数成分を除去する共振成分除去部を備え、かつ、該共振成分除去部が、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一対の駆動電極に対応して少なくとも共用化された構成であることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の制御装置であって、

前記第 1 ミラーアレイの各ティルトミラーについて、第 1 の軸方向に配置された一対の駆動電極のいずれかに電圧を与えると共に、前記第 1 の軸方向とは異なる第 2 の軸方向に配置された一対の駆動電極のいずれかに電圧を与えることで、当該ティルトミラーの反射面の角度を調整する第 1 ミラー駆動部と、

前記第 2 ミラーアレイの各ティルトミラーについて、第 1 の軸方向に配置された一対の駆動電極のいずれかに電圧を与えると共に、前記第 1 の軸方向とは異なる第 2 の軸方向に配置された一対の駆動電極のいずれかに電圧を与えることで、当該ティルトミラーの反射面の角度を調整する第 2 ミラー駆動部と、

前記特定の位置から出力される光信号のパワーを検出する光パワー検出部と、

該光パワー検出部で検出される光パワーに応じて、制御対象となるティルトミラーの反射面の角度ずれが補正されるように当該ティルトミラー駆動状態を制御

する制御信号を生成する比較制御部と、を備え、

前記共振成分除去部は、前記比較制御部から前記第 1 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記各ティルトミラーの第 1 および第 2 の軸方向ごとに少なくとも共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去する第 1 共振成分除去部と、前記比較制御部から前記第 2 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記各ティルトミラーの第 1 および第 2 の軸方向ごとに少なくとも共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去する第 2 共振成分除去部とを有することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の制御装置であって、

前記第 1 共振成分除去部は、前記比較制御部から前記第 1 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記第 1 ミラーアレイ上のすべてのティルトミラーに対応して共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去し、

前記第 2 共振成分除去部は、前記比較制御部から前記第 2 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記第 2 ミラーアレイ上のすべてのティルトミラーに対応して共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の制御装置であって、

前記比較制御部は、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一対の駆動電極について、一方の駆動電極から他方の駆動電極に制御対象が切り替えられるとき、一方の駆動電極を非駆動状態にする制御信号を前記共振成分除去部を介して対応する前記ミラー駆動部に与えた後に、他方の駆動電極を駆動状態にする制御信号を前記共振成分除去部を介して対応する前記ミラー駆動部に与えることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【請求項 5】

反射面の角度が制御可能な複数のティルトミラーを平面上に配置した第 1 ミラーアレイおよび第 2 ミラーアレイを有し、入力された光信号を前記第 1 および第 2 ミラーアレイで順次反射して特定の位置から出力する光信号交換器について、

該特定の位置から出力される光信号のパワーを検出し、該検出結果に基づいて、前記第 1 および第 2 ミラーアレイ上の前記光信号を反射したティルトミラーのうちの少なくとも一方の反射面の角度をフィードバック制御する制御方法であって、

前記フィードバック制御のために用いられる制御信号に含まれる前記ティルトミラーの機械的な共振動作に対応した周波数成分を、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して少なくとも共通に除去することを特徴とする光信号交換器の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光信号交換器における切り替え制御技術に関し、特に、マイクロマシン（MEMS：Micro Electric Mechanical system）技術による反射型のティルトミラーを用いた光信号交換器の制御装置および制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、インターネット等におけるトラフィックの増加に伴って光ネットワークの需要が高まっている。このような状況において、高速・大容量のデータを光信号のままで切り替える光信号交換器の導入が注目されている。高速・大容量の光信号交換器を実現するための従来の技術としては、例えば、光ファイバをメカニカルに切り替える方式や導波路を組み合わせた方式などが主流であった。しかし、このような従来の技術においては多段構成を採用する必要があったため、光信号交換器内の光損失が非常に大きく、また、チャネル数の増大に対応することにも限界があり、数 10 チャネル以上に対応した光信号交換器の実現は困難であった。

【0003】

上記のような状況において、マイクロマシン（MEMS）技術を応用して作製したティルトミラー（以下、MEMSミラーと呼ぶ）を用いた光スイッチは、小型化、波長無依存および偏波無依存などの点で他のスイッチに比べて優位性がある。

り注目されている。特に、例えば図 2 3 に示すように、複数のコリメータを 2 次元に配置した 2 つのコリメータアレイ 1 A, 1 B と、複数の MEMS ミラーを 2 次元に配置した 2 つの MEMS ミラーアレイ 2 A, 2 B を組み合わせて構成した 3 次元型の光信号交換器は、光損失の低減、大容量化および多チャネル化が実現可能であるという点で期待されている。

【0 0 0 4】

上記のような 3 次元型の光信号交換器について、本出願人は、各 MEMS ミラーの角度ずれを自動的に補正して光損失を低減させるための制御技術を提案している（例えば、特願 2 0 0 1 - 1 9 8 9 3 6 号、特願 2 0 0 2 - 1 3 2 8 3 3 号等）。この制御技術を適用した光信号交換器の制御装置は、例えば図 2 4 に示すように、出力側のコリメータアレイ 1 B に接続される出力光ファイバアレイ 1 0 B の後段に設けられた光カプラアレイ 1 1 で分岐された光のパワーを光パワー検出部 1 2 で検出し、その検出結果を基に比較制御部 1 3 で出力光ファイバに対する光信号の結合状態を判別して光信号交換器内での損失が最小となるように各 MEMS ミラー駆動部 1 4 A, 1 4 B を制御して、各々の MEMS ミラーの反射面の角度ずれが自動的に補正されるようにしたものである。

【0 0 0 5】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記のような光信号交換器における MEMS ミラーを用いた光スイッチの本質的な問題点として、スイッチ素子自体が機械的に動作するため、角度を高速に制御した場合、MEMS ミラーの機械的な共振が起こるようになり、角度のフィードバック制御に影響を及ぼすという点が挙げられる。

【0 0 0 6】

MEMS ミラーの機械特性は、一般に、次の（1）式で表される。

【0 0 0 7】

【数 1】

$$G_{\text{MEMS}}(s) = \frac{\omega_{\text{MEMS}}^2}{s^2 + 2 \cdot \xi_{\text{MEMS}} \cdot \omega_{\text{MEMS}} \cdot s + \omega_{\text{MEMS}}^2} \dots (1)$$

ただし、 ω_{MEMS} はMEMSミラーの共振周波数、 ξ_{MEMS} はダンピングファクター、 s はラプラス演算子である。上記のダンピングファクター ξ_{MEMS} は、MEMSミラーのプロセス構造にも依るが、0.001～0.01程度の値をとる。

【0008】

図25は、前述の図24に示した従来の制御装置の具体的な構成の一例を示す図である。また、図26は、一般的なMEMSミラーの駆動状態を模式的に示した図である。

各図に示すように、MEMSミラーアレイに配列された各MEMSミラーは、X軸およびY軸の各方向について、ミラー2aの両端部分の近傍に電極2X-1, 2X-2, 2Y-1, 2Y-2を備え、ミラー2aを傾けるべき方向に属する電極（例えば図26では電極2X-1）に対して、比較制御部13からの制御信号に従った電圧を印加して静電駆動することにより、ミラー2aの反射面が所要の角度に傾けられる。このとき静電駆動されたMEMSミラーは、上記（1）式に示した機械的特性に従うので、例えば図27に示すように共振を起こす場合がある。従来の制御装置では、上記のように共振動作するMEMSミラーに対して、光パワー検出部12での検出結果を基に、反射面の角度が最適化されるように駆動状態がフィードバック制御されることになるため、共振動作の影響によりフィードバック制御を正しく行うことができなくなる可能性がある。

【0009】

上記のようなMEMSミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減するためには、例えば、制御信号に含まれる共振周波数成分を取り除くためのフィルタを制御ループ上に挿入することが考えられる。このような手法は、光

信号交換器の制御とは技術分野が異なるが、例えば特開平 8 - 1 2 6 3 7 0 号公報、特開平 5 - 2 1 0 4 1 9 号公報、特開平 5 - 2 8 5 7 8 6 号公報、特開平 8 - 1 4 9 8 7 6 号公報等において公知である。

【 0 0 1 0 】

しかしながら、3次元型の光信号交換器の従来の制御装置について、実際にフィルタを実装することを考えると、前述の図 2 5 に示したように、1つのMEMSミラーに対して4つのフィルタが必要となり、それらが入力側および出力側の各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B に配置された各々のMEMSミラーごとに必要となるため、回路規模の増大を招いてしまうという問題点がある。

【 0 0 1 1 】

本発明は上記の問題点に着目してなされたもので、ティルトミラーの機械的な共振による制御への影響を抑えて、光信号交換器における光路の切り替えを安定して行うことのできる簡略な構成の制御装置および制御方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明にかかる光信号交換器の制御装置は、反射面の角度が制御可能な複数のティルトミラーを平面上に配置した第 1 ミラーアレイおよび第 2 ミラーアレイを有し、入力された光信号を前記第 1 および第 2 ミラーアレイで順次反射して特定の位置から出力する光信号交換器について、該特定の位置から出力される光信号のパワーを検出し、該検出結果に基づいて、前記第 1 および第 2 ミラーアレイ上の前記光信号を反射したティルトミラーのうちの少なくとも一方の反射面の角度をフィードバック制御する制御装置であって、前記フィードバック制御のために用いられる制御信号に含まれる前記ティルトミラーの機械的な共振動作に対応した周波数成分を除去する共振成分除去部を備え、かつ、該共振成分除去部が、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一対の駆動電極に対応して少なくとも共用化された構成であることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

かかる構成の制御装置では、ティルトミラーの駆動制御において、各ティルト

ミラーの同一軸方向に存在する一对の駆動電極のうち的一方にのみ駆動電圧を与えることでミラーの角度が傾けられることを考慮し、第1および第2ミラーアレイ上の各ティルトミラーの同一軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して少なくとも共用化された共振成分除去部により、制御信号に含まれる共振周波数成分が除去されるようになるため、回路規模の増大を抑えながら、ティルトミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減することができるようになる。

【 0 0 1 4 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の第1実施形態による光信号交換器の制御装置の構成を示すブロック図である。また、図2は、図1の制御装置を適用した光信号交換器の全体構成を示す概略図である。なお、上述の図25に示した従来の構成と同様の部分には同一の符号が付してある。

【 0 0 1 5 】

各図において、本実施形態の全体構成は、例えば、上述の図25に示した従来の構成と同様に、複数のコリメータを2次元に配置した2つのコリメータアレイ1A、1Bと、該各コリメータアレイ1A、1Bの各々のコリメータに対応した複数のMEMSミラーを2次元に配置した2つのMEMSミラーアレイ2A、2Bとを組み合わせ構成した3次元型の光信号交換器について、出力側のコリメータアレイ1Bに接続される出力光ファイバアレイ10Bの後段に設けられる光カプラアレイ11と、該光カプラアレイ11の各光カプラ11で分岐された光のパワーを検出する光パワー検出部12と、該光パワー検出部12の検出結果を基に出力光ファイバに対する光信号の結合状態を判別して、光出力レベルが一定になるように各MEMSミラー駆動部14A、14Bを制御する比較制御部13と、該比較制御部13から各MEMSミラー駆動部14A、14Bにそれぞれフィードバックされる制御信号について、MEMSミラーの機械的な共振動作に対応した周波数成分を除去する共振成分除去部15A、15Bと、を備えた制御装置を設けたものである。

【 0 0 1 6 】

なお、ここでは、MEMSミラーアレイ2Aが第1ミラーアレイに相当し、MEMSミラーアレイ2Bが第2ミラーアレイに相当し、MEMSミラー駆動部14Aが第1ミラー駆動部に相当し、MEMSミラー駆動部14Bが第2ミラー駆動部に相当する。

光信号交換器のコリメータアレイ1Aには、各コリメータに対応させて複数の光ファイバを2次元に配置した入力光ファイバアレイ10Aが接続され、各入力光ファイバから出射された光が各々のコリメータを通過して平行光となりMEMSミラーアレイ2Aに向けて送られる。また、コリメータアレイ1Bにも、各コリメータに対応させて複数の光ファイバを2次元に配置した出力光ファイバアレイ10Bが接続され、MEMSミラーアレイ2Bで反射された光が、各コリメータを通過して各々の出力光ファイバに結合される。

【 0 0 1 7 】

MEMSミラーアレイ2Aは、各MEMSミラーの鏡面が配列された平面の法線方向が、コリメータアレイ1Aから送られてくる光信号の伝搬方向（光軸方向）に対して非平行となるように傾けて配置される。また、MEMSミラーアレイ2Bは、MEMSミラーアレイ2Aの各MEMSミラーで反射された光を対応するMEMSミラーで再度反射してコリメータアレイ1Bに導く所要の位置に配置される。各MEMSミラーアレイ2A、2Bに配置される各々のMEMSミラーは、マイクロマシン（MEMS）技術を応用して作製した公知のマイクロティルトミラーである。具体的には、例えばX軸方向（第1の軸方向）およびY軸方向（第2の軸方向）がトーションバーにより支持され上面にミラーが形成された可動板をシリコン基板に一体に設け、該可動板の各軸方向についての両端部分近傍にそれぞれ配置した4つの電極に所要の電圧を印加することで生じる電磁力により、上記の可動板をトーションバーを軸にして回転させてミラーの振角を可変制御するものである（図26参照）。

【 0 0 1 8 】

光カプラアレイ11は、出力光ファイバアレイ10Bの各出力光ファイバに対応した複数の光カプラが配置されていて、各出力光ファイバを伝搬する光信号の

一部が各々の光カプラで分岐されて光パワー検出部 1 2 に送られる。

光パワー検出部 1 2 は、例えば図 1 の左側上部に示すように、光カプラアレイ 1 1 の各光カプラで分岐されたモニタ光を受光してその光パワーに応じた電流信号を発生する光検出器 1 2 A と、該光検出器 1 2 A から出力される電流信号を電圧信号に変換する I / V 変換器 1 2 B と、を有する。なお、図 1 では 1 組の光検出器 1 2 A および I / V 変換器 1 2 B のみが示してあるが、実際には、光カプラアレイ 1 1 の各光カプラにそれぞれ対応した、すなわち、光信号交換器の出力チャンネル数に対応した光検出器 1 2 A および I / V 変換器 1 2 B が光パワー検出部 1 2 に設けられているものとする。

【 0 0 1 9 】

比較制御部 1 3 は、例えば図 1 の左側中央部に示すように、A / D 変換器 1 3 A、演算回路 1 3 B およびセレクタ 1 3 C を有する。A / D 変換器 1 3 A は、光パワー検出部 1 2 から出力されるアナログの電圧信号をデジタル信号に変換する一般的な電気回路であり、変換したデジタルの電圧信号を演算回路 1 3 B に送る。演算回路 1 3 B は、図示を省略したが予め設定された目標値を示す信号が与えられていて、A / D 変換器 1 3 A からの出力信号と目標値の差分が演算され、その差分値が小さくなるように制御対象となる MEMS ミラーの駆動状態を補正するデジタルの制御信号がセレクタ 1 3 C に送られる。ただし、制御対象となる MEMS ミラーについては、光パワー検出部 1 2 で検出される出力チャンネルに対応した入力チャンネルに関する情報が与えられることによって特定されるものとする。セレクタ 1 3 C は、演算回路 1 3 B からの制御信号を各 MEMS ミラー駆動部 1 4 A、1 4 B に対応させて選択的に切り替えて出力する回路である。

【 0 0 2 0 】

なお、ここでは予め目標値を設定して該目標値との差分に応じた制御信号が生成される一例を示したが、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、上記のような目標値を設定する代わりに、光パワー検出部 1 2 で検出される光パワーが極大（最大）に近づくように制御対象となる MEMS ミラーの反射面の角度を最適化する制御信号が生成されるようにしてもよい。後述するような本発明による作用効果は、MEMS ミラーのフィードバック制御の方式に関係なく同様に得

られるものである。

【 0 0 2 1 】

MEMSミラー駆動部 1 4 A は、光信号交換器の入力側のMEMSミラーアレイ 2 A を駆動制御するものである。また、MEMSミラー駆動部 1 4 B は、光信号交換器の出力側のMEMSミラーアレイ 2 B を駆動制御するものである。各MEMSミラー駆動部 1 4 A, 1 4 B は、具体的には、各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B の複数のMEMSミラーに対応させて、例えば図 1 の右側に示すように、X軸方向に対応した一対のD/A変換器 2 1 X-1, 2 1 X-2 およびドライバ 2 2 X-1, 2 2 X-2 と、Y軸方向に対応した一対のD/A変換器 2 1 Y-1, 2 1 Y-2 およびドライバ 2 2 Y-1, 2 2 Y-2 とをそれぞれ有する。

【 0 0 2 2 】

各MEMSミラー駆動部 1 4 A, 1 4 B に設けられるD/A変換器 2 1 X-1, 2 1 X-2, 2 1 Y-1, 2 1 Y-2 (以下、D/A変換器 2 1 と総称する場合もある) は、比較制御部 1 3 から各共振成分除去部 1 5 A, 1 5 B を介して伝えられるデジタルの制御信号をアナログ値に変換して各ドライバ 2 2 X-1, 2 2 X-2, 2 2 Y-1, 2 2 Y-2 (以下、ドライバ 2 2 と総称する場合もある) に出力する。ドライバ 2 2 は、対応するMEMSミラーの電極に対してD/A変換器 2 1 からのアナログ値に従った電圧を与えて駆動し、当該MEMSミラーの反射面の角度を調整する。

【 0 0 2 3 】

各共振成分除去部 1 5 A, 1 5 B は、比較制御部 1 3 からの制御信号について、各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B に配列された各々のMEMSミラーの共振周波数、すなわち、前述の (1) 式における ω_{MEMS} に対応した周波数成分を除去する機能を備える。具体的に本実施形態では、例えば図 1 に示したように、MEMSミラー駆動部 1 5 A に対応する共振成分除去部 1 5 A が、MEMSミラーアレイ 2 A 上の複数のMEMSそれぞれについて、X軸方向の駆動に対応した複数のデジタルフィルタ 3 1 X および複数のセクタ 3 2 X と、Y軸方向の駆動に対応した複数のデジタルフィルタ 3 1 Y および複数のセクタ 3 2 Y とを備えて構成される。また、MEMSミラー駆動部 1 5 B に対応する共振成分除去部 1 5 B

も、MEMSミラーアレイ2B上の複数のMEMSそれぞれについて、X軸方向の駆動に対応した複数のデジタルフィルタ31Xおよび複数のセクタ32Xと、Y軸方向の駆動に対応した複数のデジタルフィルタ31Yおよび複数のセクタ32Yとを備えて構成される。

【0024】

上記のような共振成分除去部15A、15Bの各構成は、言い換えると、MEMSミラーアレイ上の個々のMEMSミラーに関して、X軸方向の2つの電極に対応するD/A変換器21X-1、21X-2に送られる各制御信号の共振成分を、共用化した1つのデジタルフィルタ31Xを用いて除去し、また、Y軸方向の2つの電極に対応するD/A変換器21Y-1、21Y-2に送られる各制御信号の共振成分を、共用化した1つのデジタルフィルタ31Yを用いて除去するようにしたものである。このような各軸方向に対応したデジタルフィルタの共用化が可能になる理由は、MEMSミラーの駆動においては、同一軸方向に存在する2つの電極のうち的一方にのみ電圧を印加することによって、ミラーの反射面が傾けられるためである。

【0025】

各共振成分除去部15A、15Bのデジタルフィルタ31X、31Yは、例えば、次の(2)式に示す伝達関数 $G_n(s)$ に従う一般にノッチフィルタと呼ばれるバターワース型の帯域阻止フィルタを用いて実現することが可能である。

【0026】

【数2】

$$G_n(s) = \frac{s^2 + \omega_n^2}{s^2 + (1/Q) \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2} \dots (2)$$

ただし、 ω_n は阻止帯域の中心周波数、 Q は阻止帯域幅を表す指標、 s はラプラス演算子である。この伝達関数 $G_n(s)$ の ω_n の値を前述の(1)式における ω

MEMSに略一致させたノッチフィルタをデジタルフィルタ31X, 31Yとして使用することにより、制御信号に含まれるMEMSミラーの共振周波数成分を除去することができるようになる。デジタルフィルタ31X, 31Yの具体的な構成としては、例えばIIR型のデジタルフィルタ回路などを適用することが可能である。ただし、デジタルフィルタ31X, 31Yは、IIR型の回路構成に限定されるものではなく、上記(2)式の伝達関数に従う公知のデジタルフィルタ回路を適用することが可能である。また、本発明において共振成分を除去するために用いられるフィルタは、バターワース型の帯域阻止フィルタだけに限定されるものではなく、例えばチェビシェフ型や楕円関数型のフィルタなどを適用することも可能であり、さらには、共振周波数に対応したカットオフ周波数を持つローパスフィルタの適用も可能である。

【0027】

上記のような構成を有する制御装置では、入力光ファイバアレイ10Aを介して光信号交換器に入力された光信号は、入力側のコリメータアレイ1Aの対応するコリメータを通過して平行光となり、MEMSミラーアレイ2Aに向けて送られる。MEMSミラーアレイ2Aに到達した光信号は、対応するMEMSミラーで反射されて伝搬方向が変えられ、MEMSミラー2Bに向けて送られて所要のMEMSミラーでさらに反射されて伝搬方向が変えられる。

【0028】

各MEMSミラーアレイ2A, 2Bで順次反射された光信号は、出力側のコリメータアレイ1Bを通過して出力光ファイバアレイ10Bの特定の光ファイバに出力され、その光信号の一部が光カプラアレイ11の対応する光カプラで分岐されて光パワー検出部12に送られる。光パワー検出部12では、光カプラアレイ11からの光信号が光検出器12Aで受光されて光パワーに応じた電流信号が生成され、その電流信号はI/V変換器12Bで電圧信号に変換されて、対応する出力チャネルの情報と共に比較制御部13に出力される。このとき、パワーが検出された出力チャネルの伝搬経路上に位置するMEMSミラーが共振動作している場合、その共振周波数に応じて出力光のパワーが変動するため、光パワー検出部12から比較制御部13に出力される電圧信号は、MEMSミラーの共振周波

数に対応した周波数成分を含むようになる。

【 0 0 2 9 】

比較制御部 1 3 では、光パワー検出部 1 2 から出力されるアナログの電圧信号が A / D 変換器 1 3 A によりデジタル値に変換されて演算回路 1 3 B に送られる。演算回路 1 3 B では、A / D 変換器 1 3 A からのデジタル値と予め設定された目標値の差分が求められ、その差分値が 0 に近づくように当該チャネルの伝搬経路上に位置する MEMS ミラーの一方または両方の反射面の角度を補正するデジタルの制御信号が生成されてセレクタ 1 3 C に出力される。セレクタ 1 3 C では、演算回路 1 3 B からの制御信号が、制御対象となる MEMS ミラーに応じて、共振成分除去部 1 5 A、1 5 B の各デジタルフィルタ 3 1 X、3 1 Y に選択的に出力される。

【 0 0 3 0 】

各デジタルフィルタ 3 1 X、3 1 Y では、比較制御部 1 3 から送られてくるデジタルの制御信号から、MEMS ミラーの共振動作に対応した周波数成分が除去されて対応するセレクタ 3 2 X、3 2 Y に出力される。具体的には、例えば図 3 に例示するように、細線で示す MEMS ミラーの共振利得特性に対応した制御信号が、破線で示す透過特性を有するノッチフィルタを通過することによって、太線で示すように共振周波数成分が取り除かれた制御信号が生成される。そして、各セレクタ 3 2 X、3 2 Y では、デジタルフィルタ 3 1 X、3 1 Y を通過した制御信号が、MEMS ミラーの同軸方向の 2 つの電極のいずれに与える電圧を制御対象とするかに応じて、MEMS ミラー駆動部 1 4 A、1 4 B の D / A 変換器 2 1 X - 1、2 1 Y - 1 または D / A 変換器 2 1 X - 2、2 1 Y - 2 に選択的に出力される。

【 0 0 3 1 】

各 MEMS ミラー駆動部 1 4 A、1 4 B では、各共振成分除去部 1 5 A、1 5 B からのデジタルの制御信号が、D / A 変換器 2 1 によりアナログ値に変換されて、対応するドライバ 2 2 に送られる。そして、各々のドライバ 2 2 では、アナログ値に変換された制御信号に従って、対応する MEMS ミラーの電極に与える駆動電圧が調整され、当該 MEMS ミラーの角度がフィードバック制御されるよ

うになる。

【 0 0 3 2 】

上記のように第 1 実施形態の制御装置によれば、MEMSミラーの同一軸方向に存在する 2 つの電極のうち的一方にのみ駆動電圧を与えることで反射面が傾けられることを考慮し、各 MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B の個々の MEMSミラーの同一軸方向について、制御信号の共振成分を除去するデジタルフィルタを共用化するようにしたことによって、回路規模の増大を抑えながら、MEMSミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減することができる。これにより、光信号交換器から出力される各チャネルの光信号パワーを安定に制御することが可能になり、また、光信号交換器における入出力チャネルの切り替えを確実に行うことができる。

【 0 0 3 3 】

次に、本発明の第 2 実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。

図 4 は、第 2 実施形態の制御装置における共振成分除去部および MEMSミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

図 4 において、本実施形態の制御装置の構成が前述した第 1 実施形態の場合と異なる部分は、各共振成分除去部 1 5 A, 1 5 B がセレクタ 3 2 X, 3 2 Y に代えて LSB デコード回路 3 3 X, 3 3 Y を有し、該 LSB デコード回路 3 3 X, 3 3 Y で検出される最下位ビットに応じて、MEMSミラー駆動部の D/A 変換器 2 1 のオンオフが切り替えられるようにした部分である。

【 0 0 3 4 】

なお、図 4 では、MEMSミラーアレイ 2 A (2 B) 上の複数の MEMSミラーのうちの 1 つに対応する構成のみを示したが、これと同様の構成が複数の MEMSミラーにそれぞれ対応させて設けられることにより、本実施形態における共振成分除去部 1 5 A (1 5 B) および MEMSミラー駆動部 1 4 A (1 4 B) が構成されるものとする。また、図 4 に示した構成以外の他の部分の制御装置の構成および光信号交換器全体の構成は、前述の図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態の場合と同様であるため、ここでの説明を省略する。

【 0 0 3 5 】

L S B デコード回路 3 3 X は、例えば、デジタルフィルタ 3 1 X の前段に設けられ、比較制御部 1 3 からデジタルフィルタ 3 1 X に送られる制御信号の最下位ビットを検出し、その検出結果に応じて D / A 変換器 2 1 X - 1 , 2 1 X - 2 の一方をオンとし他方をオフとする切り替え信号を出力する。また、L S B デコード回路 3 3 Y も上記の L S B デコード回路 3 3 X と同様に、例えば、デジタルフィルタ 3 1 Y の前段に設けられ、比較制御部 1 3 からデジタルフィルタ 3 1 Y に送られる制御信号の最下位ビットを検出し、その検出結果に応じて D / A 変換器 2 1 Y - 1 , 2 1 Y - 2 の一方をオンとし他方をオフとする切り替え信号を出力する。

【 0 0 3 6 】

上記のような構成の第 2 実施形態では、MEMS ミラーの駆動制御において、1 つの MEMS ミラーの同一軸方向に対応した 2 つの D / A 変換器は、同時に動作をさせるのではなく択一的に動作をさせるということを考慮して、D / A 変換器に送られる制御信号のデジタル値を利用し、各 D / A 変換器のオンオフの切り替えが行われる。具体的には、例えば、D / A 変換器 2 1 X - 1 (2 1 Y - 1) について奇数のデジタルコードを制御信号として割り振り、D / A 変換器 2 1 X - 2 (2 1 Y - 2) について偶数のデジタルコードを制御信号として割り振るようにする。これにより、制御信号のデジタル値の最下位ビットがそのまま識別子として機能するようになり、最下位ビットが「1」の場合には、D / A 変換器 2 1 X - 1 (2 1 Y - 1) をオン、D / A 変換器 2 1 X - 2 (2 1 Y - 2) をオフに切り替え、最下位ビットが「0」の場合には、D / A 変換器 2 1 X - 1 (2 1 Y - 1) をオフ、D / A 変換器 2 1 X - 2 (2 1 Y - 2) をオンに切り替えることで、セレクタに相当する機能が実現されるようになる。この場合、実際の MEMS ミラーの駆動制御では、各電極に印加する駆動電圧がデジタルコードに依存するため、上記の識別子として最下位ビットに付加される情報が制御に影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、高ビットの D / A 変換を行う場合、最下位ビットによる駆動電圧の誤差は許容可能となるため、上記のような切り替え方式によっても MEMS ミラーの駆動制御を確実に行うことが可能である。

【 0 0 3 7 】

次に、本発明の第 3 実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。

上記の第 2 実施形態では、1 つの MEMS ミラーの同一軸方向に対応した D/A 変換器の動作の切り替えが制御信号のデジタル値の奇数/偶数に応じて行われるようにしたが、制御信号のデジタル値が一定値以上であるか否かに応じて D/A 変換器の動作を切り替えるようにすることも可能である。第 3 実施形態では、上記のような切り替え方式による制御装置について説明する。

【 0 0 3 8 】

図 5 は、第 3 実施形態の制御装置における共振成分除去部および MEMS ミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

図 5 において、本実施形態の制御装置の構成が前述の図 4 に示した第 2 実施形態の場合と異なる部分は、各共振成分除去部 1 5 A, 1 5 B が、LSB デコード回路 3 3 X, 3 3 Y に代えて、MSB デコード回路 3 4 X, 3 4 Y および差分回路 3 5 X, 3 5 Y を有し、MSB デコード回路 3 4 X, 3 4 Y で検出される最上位ビットに応じて、D/A 変換器 2 1 のオンオフが切り替えられるようにした部分である。

【 0 0 3 9 】

なお、図 5 でも、MEMS ミラーアレイ 2 A (2 B) 上の複数の MEMS ミラーのうちの 1 つに対応する構成のみを示したが、これと同様の構成が複数の MEMS ミラーにそれぞれ対応させて設けられることにより、本実施形態における共振成分除去部 1 5 A (1 5 B) および MEMS ミラー駆動部 1 4 A (1 4 B) が構成されるものとする。また、図 5 に示した構成以外の他の部分の制御装置の構成および光信号交換器全体の構成は、前述の図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態の場合と同様であるため、ここでの説明を省略する。

【 0 0 4 0 】

MSB デコード回路 3 4 X は、例えば、デジタルフィルタ 3 1 X の前段に設けられ、比較制御部 1 3 から差分回路 3 5 X を介してデジタルフィルタ 3 1 X に送られる制御信号の最上位ビットを検出し、その検出結果に応じて D/A 変換器 2

1 X-1, 2 1 X-2 の一方をオンとし他方をオフとする切り替え信号を出力する。また、MSBデコード回路 3 4 Y も上記のMSBデコード回路 3 4 X と同様に、例えば、デジタルフィルタ 3 1 Y の前段に設けられ、比較制御部 1 3 から差分回路 3 5 Y を介してデジタルフィルタ 3 1 Y に送られる制御信号の最上位ビットを検出し、その検出結果に応じてD/A変換器 2 1 Y-1, 2 1 Y-2 の一方をオンとし他方をオフとする切り替え信号を出力する。

【0 0 4 1】

各差分回路 3 5 X, 3 5 Y は、各MSBデコード回路 3 4 X, 3 4 Y を通過した制御信号のデジタル値と後述する中心値との差分を求め、その差分の値を示すデジタル信号をデジタルフィルタ 3 1 X, 3 1 Y に出力する。

上記のような構成の第3実施形態では、例えば、各MEMSミラー駆動部 1 4 A, 1 4 B の各々のD/A変換器 2 1 で n ビットのD/A変換が行われるとき、図6に示すように、デジタル値で 2^{n-1} に該当する値を前述の中心値として予め設定し、ドライバ 2 2 X-1 (2 2 Y-1) について $2^{n-1} \sim 2^n$ を割り振り、ドライバ 2 2 X-2 (2 2 Y-2) について $0 \sim 2^{n-1}$ を割り振るようにする。これにより、中心値 2^{n-1} に対する制御信号のデジタル値の大小関係により切り替えを行うことが可能になり、上記デジタル値の最上位ビットが識別子として機能するようになる。具体的に、最上位ビットが「1」の場合には、D/A変換器 2 1 X-1 (2 1 Y-1) をオン、D/A変換器 2 1 X-2 (2 1 Y-2) をオフに切り替え、最上位ビットが「0」の場合には、D/A変換器 2 1 X-1 (2 1 Y-1) をオフ、D/A変換器 2 1 X-2 (2 1 Y-2) をオンに切り替えることで、セレクタに相当する機能が実現されるようになる。このとき、駆動電圧の制御値としては、各差分回路 3 5 X, 3 5 Y で求められる差分値、すなわち、中心値 2^{n-1} に対する制御信号のデジタル値の差分の値が用いられ、この差分値がデジタルフィルタ 3 1 X, 3 1 Y に渡される。なお、各差分回路 3 5 X, 3 5 Y で求められる差分値は、単純な差分であっても絶対値であってもよい。単純な差分値を用いた場合、 $0 \sim 2^{n-1}$ が割り振られるドライバ 2 2 X-2 (2 2 Y-2) での駆動電圧が負の値になるが、MEMSミラーの駆動に際しては駆動電圧の絶対値によってミラーの角度が決まるため、制御上の問題が生じることは特にな

い。

【0042】

このように第3実施形態によれば、制御信号のデジタル値を所要の中心値を基準にして各ドライバに割り振り、そのデジタル値の最上位ビットを識別子として各D/A変換器のオンオフの切り替えを行うようにしても、前述の第2実施形態の場合と同様にして、MEMSミラーの駆動制御を確実に行うことが可能である。

【0043】

次に、本発明の第4実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。第4実施形態では、上記の第3実施形態の制御装置に関連する応用例について考える。

図7は、第4実施形態の制御装置における共振成分除去部およびMEMSミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

【0044】

図7に示す制御装置の要部構成が前述の図5に示した第3実施形態の場合と異なる部分は、各MEMSミラー駆動部14A、14Bについて、X軸方向の2つのドライバ22X-1、22X-2に代えて半波整流回路を用いた1つのドライバ22Xを使用すると共に、Y軸方向の2つのドライバ22Y-1、22Y-2に代えて半波整流回路を用いた1つのドライバ22Yを使用し、各々の軸方向ごとに2つずつ設けていたD/A変換器を共用化してD/A変換器21X、21Yとした部分である。このような各MEMSミラー駆動部14A、14Bの変更に、各共振成分除去部15A、15Bについては、MSBデコード回路34X、34Yを省略することが可能になる。

【0045】

なお、図7でも、MEMSミラーアレイ2A（2B）上の複数のMEMSミラーのうちの1つに対応する構成のみを示したが、これと同様の構成が複数のMEMSミラーにそれぞれ対応させて設けられることにより、本実施形態における共振成分除去部15A（15B）およびMEMSミラー駆動部14A（14B）が構成されるものとする。また、図7に示した構成以外の他の部分の制御装置の構

成および光信号交換器全体の構成は、前述の図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態の場合と同様であるため、ここでの説明を省略する。

【0046】

各ドライバ 22X, 22Y は、具体的には、非反転半波整流回路 22a と反転半波整流回路 22b の組み合わせによって構成される。非反転半波整流回路 22a は、D/A 変換器 21X から出力される正の電圧値が与えられ、反転半波整流回路 22b は、D/A 変換器 21X から出力される負の電圧値が与えられる。

このような構成によれば、1つのMEMSミラーのX軸方向およびY軸方向ごとにD/A変換器とドライバとを共用化することができ、また、各共振成分除去部 15A, 15B にMSBデコード回路 34X, 34Y を設ける必要がなくなるため、回路規模の増大をより効果的に抑えながら、MEMSミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減することができる。

【0047】

なお、上記の第 4 実施形態については、例えば図 8 に示すように、デジタルフィルタ 31X, 31Y に代えて、D/A 変換器 21X, 21Y とドライバ 22X, 22Y との間にアナログフィルタ 31X', 31Y' を設けることも可能である。上記のアナログフィルタ 31X', 31Y' は、前述した (2) 式の伝達関数に従うアナログのノッチフィルタ等である。

【0048】

次に、本発明の第 5 実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。

図 9 は、第 5 実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

図 9 に示すように、本実施形態の制御装置は、MEMSミラーアレイ 2A 上のすべてのMEMSミラーに対応させて 1 つのデジタルフィルタ 16A を設けると共に、MEMSミラーアレイ 2B 上のすべてのMEMSミラーに対応させて 1 つのデジタルフィルタ 16B を設けるようにしたことを特徴とする。なお、MEMSミラーアレイごとに共用化したデジタルフィルタ 16A, 16B を設けた部分以外の他の制御装置の構成および光信号交換器全体の構成は、上述の図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態の場合と同様であるため、ここでの説明を省略する。

【 0 0 4 9 】

上述した第 1 実施形態では、MEMSミラーの同一軸方向に存在する 2 つの電極のうち的一方にのみ駆動電圧を与えることで反射面が傾けられることを考慮し、各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B 上の個々のMEMSミラーの同一軸方向について、制御信号の共振成分を除去するデジタルフィルタを共用化するようにした。さらに、本実施形態では、各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B がそれぞれ同一のプロセスで形成されるため各々のアレイ上の複数のMEMSミラーは略同一の共振周波数を有する可能性が高いことを考慮し、各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B に対応したすべてのMEMSミラーについて、共振成分除去用のデジタルフィルタの共用化を図っている。

【 0 0 5 0 】

各MEMSミラーアレイ 2 A, 2 B について共用化された各々のデジタルフィルタ 1 6 A, 1 6 B は、具体的には、例えば図 1 0 に示すように、前段メモリ 1 6 a、フィルタ回路 1 6 b および後段メモリ 1 6 c を有する。前段メモリ 1 6 a は、MEMSミラーアレイ上の複数（例えば n 個とする）のMEMSミラーにそれぞれ対応して比較制御部 1 3 から出力されるデジタルの制御信号をまとめて格納することのできる例えば D P R A M 等の公知のメモリである。この前段メモリ 1 6 a に格納されたデジタル値は、後述するようにフィルタ回路 1 6 b によって順次読み出される。フィルタ回路 1 6 b は、上述した（2）式の伝達関数に従う公知のデジタルフィルタ回路である。後段メモリ 1 6 c は、フィルタ回路 1 6 b を通過した制御信号を一時的に格納し、その格納した制御信号を n 個のMEMSミラーにそれぞれ対応させて所要のタイミングで D / A 変換器 2 1 に出力することのできる例えば D P R A M 等の公知のメモリである。

【 0 0 5 1 】

図 1 1 は、上記のようなデジタルフィルタ 1 6 A, 1 6 B の動作を具体的に説明するためのタイムチャートである。各デジタルフィルタ 1 6 A, 1 6 B では、図 1 1 の 1 段目に示すように、前段メモリ 1 6 a に対して、比較制御部 1 3 から出力される # 1 ~ # n のMEMSミラーにそれぞれ対応した制御信号が入力されて格納される。そして、前段メモリ 1 6 a から読み出されてフィルタ回路 1 6 b

を通過した制御信号は、図 1 1 の 2 段目に示すように、# 1 の MEMS ミラーについて m 個のデジタルコード # 1 - 1 ~ # 1 - m となり、# 2 の MEMS ミラーについて m 個のデジタルコード # 2 - 1 ~ # 2 - m となり、以降同様に、# n の MEMS ミラーについて m 個のデジタルコード # n - 1 ~ # n - m となって、後段メモリ 1 6 c に入力されて格納される。後段メモリ 1 6 c では、図 1 1 の 3 段目に示すように、# 1 ~ # n の MEMS ミラーに対する 1 番目のデジタルコード # 1 - 1 ~ # n - 1 を最初のサンプリング周期に並べ、2 番目のデジタルコード # 1 - 2 ~ # n - 2 を次のサンプリング周期に並べ、以降同様に、格納したデジタルコードの並べ替えを m 番目のデジタルコード # 1 - m ~ # n - m まで行う。そして、並べ替えられたデジタルコードは対応する D/A 変換器 2 1 に順次出力される。図 1 1 の 4 段目には、例えば # 1 の MEMS ミラーに対応した D/A 変換器 2 1 に入力されるデジタルコードが示してある。D/A 変換器 2 1 では、図 1 1 の 5 段目に示すように、後段メモリ 1 6 C からのデジタルコードを 1 サンプリング周期に亘って保持されるアナログ値に変換した後に、対応するドライバ 2 2 に出力する。これにより、各 MEMS ミラーに対応したドライバ 2 2 には、デジタルフィルタによって共振成分の除去された制御値が伝えられるようになる。

【 0 0 5 2 】

このように第 5 実施形態の制御装置によれば、各 MEMS ミラーアレイ 2 A, 2 B がそれぞれ同一のプロセスで形成されるため各々のアレイ上の複数の MEMS ミラーは略同一の共振周波数を有する可能性が高いことを考慮して、各 MEMS ミラーアレイ 2 A, 2 B に対応したすべての MEMS ミラーについて、共振成分を除去するデジタルフィルタを共用化したことによって、回路規模の増大を一層効果的に抑えながら、MEMS ミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減することができる。

【 0 0 5 3 】

なお、上記の第 5 実施形態では、MEMS ミラーアレイごとに共振成分を除去するフィルタを共用化しようとしたが、例えば、2 つの MEMS ミラーアレイ 2 A, 2 B 上のすべての MEMS ミラーについて、共振成分を除去するフィルタ

をX軸およびY軸の各軸方向で共用化する応用も可能である。

また、上記の第5実施形態では、MEMSミラーアレイ上の複数のMEMSミラーは略同一の共振周波数を有する可能性が高いとしてフィルタの共用化を図ったが、個々のMEMSミラーの共振周波数に有意なばらつきが存在し、MEMSミラーアレイ上のあるMEMSミラーについては、その共振周波数とフィルタの遮断周波数とに差が生じて共振成分の抑圧を十分に行うことができなくなる場合もあり得る。このような場合には、例えば、MEMSミラーアレイごとに共用化したフィルタを多段化する、すなわち、同じ特性を持つ複数のフィルタを直列に接続することによって阻止帯域幅が広がるため、個々のMEMSミラーの共振周波数のばらつきを含めた共振成分の抑圧が可能になる。また、フィルタを多段化する代わりに、例えば上述した(2)式におけるQ値の小さいフィルタを用いることによって多段化の場合と同等の効果を得ることができる。

【0054】

次に、本発明の第6実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。

上述した第1～第5実施形態においては、入出力チャネルの切り替え等によって駆動すべきドライバ22を切り替える場合、すなわち、駆動電圧を印加する電極を同軸方向の反対側の電極に切り替える場合に、切り替え前まで駆動していた電極への印加電圧を0Vに落とす必要があり、当該電極に対応したD/A変換器21に与えるべき制御信号は初期値にリセットされる構成となる。しかし、このような構成では、例えば図12に示すように、切り替え後に駆動すべき側(ドライバ22X-2a側)にはMEMSミラーの共振動作を抑えることが可能な駆動波形の制御信号が与えられるものの、切り替え前まで駆動していた側(ドライバ22X-1a側)には駆動波形が瞬時に0Vに相当する値に変化する制御信号が与えられるため、この制御信号による駆動動作によってMEMSミラーの共振現象を発生させてしまう可能性がある。そこで、第6実施形態では、上記のようなドライバの切り替え時における共振動作を抑えるための制御方法について説明する。

【0055】

図 1 3 は、第 6 実施形態におけるドライバの切り替え時の駆動波形の一例を示した図である。また、図 1 4 は、第 6 実施形態におけるチャンネルの切り替え時の制御動作を説明するフローチャートである。ただし、図 1 3 の一例では、入出力チャンネルの切り替え等によって駆動すべきドライバが $22X-1$ から $22X-2$ に切り替えられる場合について、各ドライバ $22X-1$ 、 $22X-2$ に与えられる制御信号の波形が示してある。

【0056】

本実施形態の制御装置では、チャンネルの切り替え等によって、それまで駆動していたドライバ $22X-1$ に替えてドライバ $22X-2$ を駆動する制御の切り替えが発生すると、まず、図 1 4 のステップ 1（図中 S 1 で示し、以下同様とする）において、ドライバ $22X-2$ に対する切り替え後の初期値が比較制御部 1 3 にロードされる。そして、ステップ 2 では、当該チャンネルの切り替えによってドライバの切り替えが必要であるか否かが判断され、ドライバの切り替えが必要な場合にはステップ 3 に進み、不要の場合にはステップ 6 に移る。ステップ 3 では、現在駆動しているドライバ $22X-1$ に対して、図 1 3 の上段に示すような波形の制御信号、すなわち、駆動電圧を現在の値から 0 V に変化させるための制御値をデジタルフィルタ 3 1 X で処理して生成した制御信号が D/A 変換器 2 1 X - 1 を介して与えられる。これによりドライバ $22X-1$ の駆動電圧を 0 V に変化させる際に生じる MEMS ミラーの共振動作が抑えられるようになる。

【0057】

次に、ステップ 4 では、セレクタ 3 2 X の切り替えなどによって駆動ドライバが $22X-2$ に変更される。そして、切り替えられたドライバ $22X-2$ に対しては、ステップ 5 において、図 1 3 の下段に示すような波形の制御信号、すなわち、ステップ 1 で設定された初期値を基にデジタルフィルタ 3 1 X で処理した制御信号が D/A 変換器 2 1 X - 1 を介して与えられる。これにより、ドライバ $22X-2$ の駆動電圧を初期値に変化させる際に生じる MEMS ミラーの共振動作が抑えられるようになる。

【0058】

なお、チャンネルの切り替え等により駆動すべきドライバの切り替えが不要な場

合には、まず、ステップ6において、現在の制御値と切り替え後の初期値との差分を求めてそれをデジタルフィルタ31Xで処理する。そして、ステップ7において、上記のステップ6でフィルタ処理した差分値を現在の制御値に加算した制御信号を生成し、その制御信号に従って該当するドライバを引き続き駆動すればよい。図15には、チャンネルの切り替えの前後においてドライバ21X-1が駆動される場合の駆動波形の一例を示しておく。

【0059】

次に、本発明の第7実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。

第7実施形態では、MEMSミラーの機械的な共振の残留振幅がミラーの傾斜角度に比例することを考慮して、傾斜角度に応じた共振抑圧が行われるようにした制御装置について説明する。

【0060】

図16は、第7実施形態の制御装置の要部構成を示すブロック図である。

図16において、本実施形態の制御装置は、例えば上述した第1実施形態の構成について、比較制御部13で生成される制御信号のデジタル値の変化を検出する変化量検出部17Xを設け、デジタルフィルタ31Xに直列に接続したデジタルフィルタ31X'の動作を上記変化量検出部17Xの検出結果に従って制御するようにしたことを特徴とする。なお、図16では、1つのMEMSミラーのX軸方向に対応する構成のみを示したが、これと同様の構成が当該MEMSミラーのY軸方向およびMEMSミラーアレイ上の他のMEMSミラーにそれぞれ対応させて設けられるものとする。

【0061】

変化量検出部17Xは、比較制御部13から出力される制御信号のデジタル値の変化を検出し、その変化量が予め設定した基準値を超える場合にデジタルフィルタ31X'でのフィルタリング動作をイネーブルにし、基準値以下の場合にはデジタルフィルタ31X'でのフィルタリング動作をディセーブルにしてスルーとする信号を生成する。デジタルフィルタ31X'は、デジタルフィルタ31Xと同様の特性を有するものである。

【 0 0 6 2 】

上記のような構成の制御装置では、変化量検出部 1 7 X で検出される変化量が基準値を超えたとき、すなわち、制御対象となる MEMS ミラーの角度制御量が比較的大きな場合には、その MEMS ミラーの機械的な共振の残留振幅が増大するため、デジタルフィルタによる共振成分の抑圧効果を大きくする必要がある。このため、デジタルフィルタ 3 1 X' をイネーブルにする信号が変化量検出部 1 7 X からデジタルフィルタ 3 1 X' に出力され、直列に接続された 2 段構成のデジタルフィルタ 3 1 X, 3 1 X' により共振成分の抑圧が行われる。一方、変化量検出部 1 7 X で検出される変化量が基準値以下の場合には、上記の場合とは逆に、制御対象となる MEMS ミラーの機械的な共振の残留振幅が小さく、駆動制御に与える影響が少ないため、デジタルフィルタによる共振成分の抑圧効果は比較的小さくてもよい。そこで、デジタルフィルタ 3 1 X' をディセーブルにする信号が変化量検出部 1 7 X からデジタルフィルタ 3 1 X' に出力され、デジタルフィルタ 3 1 X' はスルー特性となってデジタルフィルタ 3 1 X のみにより共振成分の抑圧が行われるようになる。

【 0 0 6 3 】

このように第 7 実施形態の制御装置によれば、制御対象となる MEMS ミラーの角度制御量に応じて共振成分の抑圧を行うことができるため、光信号交換器の制御をさらに安定して行うことが可能になる。

なお、上記の第 7 実施形態では、上述した第 1 実施形態の構成についての適用事例を示したが、他の実施形態についても同様にして適用可能である。

【 0 0 6 4 】

次に、本発明の第 8 実施形態による光信号交換器の制御装置について説明する。

一般に、フィードバック制御において制御ループ上にフィルタを挿入すると、駆動波形の立ち上がり時間が遅くなるため、フィードバック制御が安定した状態になるまでに要する時間が長くなる。そこで、第 8 実施形態では、MEMS ミラーのフィードバック制御の高速化を実現するための応用例について説明する。

【 0 0 6 5 】

図 1 7 は、第 8 実施形態の制御装置における共振成分除去部の要部構成を示す図である。

図 1 7 において、本制御装置の共振成分除去部は、例えば、特性の異なる 2 つのデジタルフィルタ 31_1 、 31_2 と、初期立ち上げ信号に応じて接続状態が選択的に切り替わる 2 つのセレクタ 32_1 、 32_2 とを有し、該セレクタ 32_1 、 32_2 を介してデジタルフィルタ 31_1 、 31_2 が並列に接続される。セレクタ 32_1 は、比較制御部 1 3 からの制御信号が入力され、その制御信号を後述するように初期立ち上げ信号に応じてデジタルフィルタ 31_1 、 31_2 のいずれかに出力する。セレクタ 32_2 は、初期立ち上げ信号に応じてデジタルフィルタ 31_1 、 31_2 のいずれかを出力に接続することで、各デジタルフィルタ 31_1 、 31_2 を通過した制御信号を選択的に MEMS ミラー駆動部に出力する。上記の初期立ち上げ信号は、入出力チャネルの切り替え等により駆動制御の初期値が設定若しくは更新される際に与えられる信号である。

【0066】

デジタルフィルタ 31_1 は、上述した (2) 式の伝達関数 $G_n(s)$ に従うノッチフィルタである。一方、デジタルフィルタ 31_2 は、次の (3) 式の伝達関数 $G_n(s)'$ に従うノッチフィルタである。

【0067】

【数 3】

$$G_n(s) = \frac{k \cdot (s^2 + \omega_n^2)}{s^2 + (1/Q) \cdot (k \cdot \omega_n) \cdot s + (k \cdot \omega_n)^2} \dots (3)$$

ただし、 k は定数である。上記の (3) 式で表される伝達関数 $G_n(s)'$ は、(2) 式の伝達関数 $G_n(s)$ について高周波数側の帯域にゲインをはかせたものである。図 1 8 には、デジタルフィルタ 31_2 の AC 特性の一例を示しておく。

【 0 0 6 8 】

図 1 9 は、各デジタルフィルタ $3\ 1\ 1$ 、 $3\ 1\ 2$ で処理された制御信号に従ってドライバを駆動したときの応答特性の一例を示す図である。また、図 2 0 は、MEMS ミラーの伝達関数 $G_{\text{MEMS}}(s)$ と各デジタルフィルタ $3\ 1\ 1$ 、 $3\ 1\ 2$ の伝達関数 $G_n(s)$ 、 $G_n(s)'$ を組み合わせたときの応答特性の一例を示す図である。

【 0 0 6 9 】

図 1 9 および図 2 0 に示すように、デジタルフィルタ $3\ 1\ 2$ を用いることで応答特性における立ち上がり時間が高速化されることが分かる。このため、MEMS ミラーの傾斜角度のフィードバック制御時にデジタルフィルタ $3\ 1\ 2$ を適用することで、最適化制御に要する時間を短縮することが可能になる。ただし、デジタルフィルタ $3\ 1\ 2$ を適用した場合には、図 1 9 に示した通り、駆動波形について大幅なオーバーシュートが生じるため、初期立ち上げ時のように角度制御量が大きくなる場合にデジタルフィルタ $3\ 1\ 2$ を用いると、MEMS ミラーの破壊等を招く可能性があるので注意が必要である。そこで、本実施形態では、初期立ち上げ信号の入力に応じてセレクタ $3\ 2\ 1$ 、 $3\ 2\ 2$ を切り替え、角度制御量が大きな初期立ち上げ時にはデジタルフィルタ $3\ 1\ 1$ を用いてミラーの破壊等を回避し、角度制御量が比較的小さなフィードバック制御時にはデジタルフィルタ $3\ 1\ 2$ を用いてフィードバック制御を高速化させるようにする。

【 0 0 7 0 】

このように第 8 実施形態によれば、初期立ち上げ時とフィードバック制御時とでデジタルフィルタを切り替えるようにしたことで、MEMS ミラーのフィードバック制御の高速化を実現することが可能になる。

なお、上記の第 8 実施形態では、特性の異なる 2 つのデジタルフィルタを用意して各々のフィルタを切り替えて用いるようにしたが、例えば、デジタルフィルタを構成する回路の定数等を変更することにより 1 つのフィルタで異なる特性を得ることができる場合には、初期立ち上げ時とフィードバック制御時で定数変更を行ってフィルタの切り替えを行うようにしてもよい。

【 0 0 7 1 】

また、第 8 実施形態では、初期立ち上げ時とフィードバック制御時とでフィルタを切り替えて制御の高速化を図るようにしたが、例えば図 2 1 に示すように、特性の異なる複数（図では L 個）のデジタルフィルタ $3\ 1_1 \sim 3\ 1_L$ をセレクタ $3\ 2_1$, $3\ 2_2$ を介して並列に接続し、変化量検出部 1 7 で検出される角度制御量に応じて、適用するデジタルフィルタ $3\ 1_1 \sim 3\ 1_L$ を切り替えるようにすることも可能である。この場合の各デジタルフィルタ $3\ 1_1 \sim 3\ 1_L$ は、前述した (3) 式における k の値を段階的に変えた伝達関数を有するものとする。具体的には、初期立ち上げ時のように角度制御量が大きくなるときには、 k の値が小さな ($k = 1$) デジタルフィルタを適用し、角度制御量が小さくなるに従って k の値が大きなデジタルフィルタを適用するようにする。これにより、フィードバック制御時についても角度制御量に応じてデジタルフィルタの切り替えが行われるようになるため、MEMS ミラーのフィードバック制御のさらなる高速化を実現することが可能になる。なお、ここでは L 段のデジタルフィルタ $3\ 1_1 \sim 3\ 1_L$ を用意するようにしたが、前述したようにデジタルフィルタを構成する回路の定数変更によりフィルタの切り替えを行うことも勿論可能である。

【 0 0 7 2 】

さらに、第 8 実施形態では、デジタルフィルタ $3\ 1_2$ による駆動波形のオーバーシュージングを考慮して、初期立ち上げ時には低速のデジタルフィルタ $3\ 1_1$ に切り替えを行うようにしたが、例えば図 2 2 に示すように、高速のデジタルフィルタ $3\ 1_2$ の前段にセレクタ $3\ 2_1$, $3\ 2_2$ を介してローパスフィルタ 1 8 を接続し、初期立ち上げ時にはセレクタ $3\ 2_1$, $3\ 2_2$ がローパスフィルタ 1 8 側を選択して制御信号がローパスフィルタ 1 8 およびデジタルフィルタ $3\ 1_2$ を通過し、フィードバック制御時にはセレクタ $3\ 2_1$, $3\ 2_2$ がスルー側を選択して制御信号がデジタルフィルタ $3\ 1_2$ のみを通過するようにしてもよい。これより、デジタルフィルタ $3\ 1_2$ による駆動波形のオーバーシュージングを回避しながらフィードバック制御の高速化を図ることが可能になる。

【 0 0 7 3 】

以上、本明細書で開示した主な発明について以下にまとめる。

【 0 0 7 4 】

（付記 1） 反射面の角度が制御可能な複数のティルトミラーを平面上に配置した第 1 ミラーアレイおよび第 2 ミラーアレイを有し、入力された光信号を前記第 1 および第 2 ミラーアレイで順次反射して特定の位置から出力する光信号交換器について、該特定の位置から出力される光信号のパワーを検出し、該検出結果に基づいて、前記第 1 および第 2 ミラーアレイ上の前記光信号を反射したティルトミラーのうちの少なくとも一方の反射面の角度をフィードバック制御する制御装置であって、

前記フィードバック制御のために用いられる制御信号に含まれる前記ティルトミラーの機械的な共振動作に対応した周波数成分を除去する共振成分除去部を備え、かつ、該共振成分除去部が、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して少なくとも共用化された構成であることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 7 5 】

（付記 2） 付記 1 に記載の制御装置であって、

前記第 1 ミラーアレイの各ティルトミラーについて、第 1 の軸方向に配置された一对の駆動電極のいずれかに電圧を与えると共に、前記第 1 の軸方向とは異なる第 2 の軸方向に配置された一对の駆動電極のいずれかに電圧を与えることで、当該ティルトミラーの反射面の角度を調整する第 1 ミラー駆動部と、

前記第 2 ミラーアレイの各ティルトミラーについて、第 1 の軸方向に配置された一对の駆動電極のいずれかに電圧を与えると共に、前記第 1 の軸方向とは異なる第 2 の軸方向に配置された一对の駆動電極のいずれかに電圧を与えることで、当該ティルトミラーの反射面の角度を調整する第 2 ミラー駆動部と、

前記特定の位置から出力される光信号のパワーを検出する光パワー検出部と、

該光パワー検出部で検出される光パワーに応じて、制御対象となるティルトミラーの反射面の角度ずれが補正されるように当該ティルトミラーの駆動状態を制御する制御信号を生成する比較制御部と、を備え、

前記共振成分除去部は、前記比較制御部から前記第 1 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記各ティルトミラーの第 1 および第 2 の軸方向ごとに少なくとも共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去する

第 1 共振成分除去部と、前記比較制御部から前記第 2 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記各ティルトミラーの第 1 および第 2 の軸方向ごとに少なくとも共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去する第 2 共振成分除去部とを有することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0076】

(付記 3) 付記 2 に記載の制御装置であって、

前記光パワー検出部は、検出した光パワーを示すアナログ信号を前記比較制御部に出力し、

前記比較制御部は、前記光パワー検出部からのアナログ信号をデジタル信号に変換した後、該デジタル信号に応じて、制御対象となるティルトミラーの反射面の角度ずれが補正されるように当該ティルトミラーの駆動状態を制御するデジタルの制御信号を前記第 1 および第 2 共振成分除去部に出力し、

前記第 1 および第 2 共振成分除去部は、前記比較制御部からの制御信号に含まれる前記共振周波数成分をデジタルフィルタを用いて除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0077】

(付記 4) 付記 3 に記載の制御装置であって、

前記比較制御部は、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一方の駆動電極に対応する制御信号として偶数のデジタル値を割り振り、他方の駆動電極に対応する制御信号として奇数のデジタル値を割り振り、

前記第 1 および第 2 共振成分除去部は、前記デジタルフィルタに入力されるデジタル値の最下位ビットに応じて、当該デジタル値が前記同一軸方向に配置された一対の駆動電極のいずれに対応するものであるかを判別する機能を備えたことを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0078】

(付記 5) 付記 3 に記載の制御装置であって、

前記比較制御部は、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一方の駆動電極に対応する制御信号として n ビットのデジタル値のうちの $0 \sim 2^{n-1}$ を割り振り、他方の駆動電極に対応する制御信号として n ビットのデジタル値のうちの

$2^{n-1} \sim 2^n$ を割り振り、

前記第 1 および第 2 共振成分除去部は、前記デジタルフィルタに入力されるデジタル値の最上位ビットに応じて、当該デジタル値が前記同一軸方向に配置された一対の駆動電極のいずれに対応するものであるかを判別する機能を備えたことを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 7 9 】

(付記 6) 付記 3 に記載の制御装置であって、

前記比較制御部は、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一方の駆動電極に対応する制御信号として n ビットのデジタル値のうちの $0 \sim 2^{n-1}$ を割り振り、他方の駆動電極に対応する制御信号として n ビットのデジタル値のうちの $2^{n-1} \sim 2^n$ を割り振り、

前記第 1 および第 2 共振成分除去部は、前記デジタルフィルタに入力されるデジタル値と中心値 2^{n-1} との差分を求め、該差分値に対応したデジタル値を制御信号として前記第 1 および第 2 ミラー駆動部に出力し、

前記第 1 および第 2 ミラー駆動部は、前記第 1 および第 2 共振成分除去部からの制御信号を D/A 変換して正および負のアナログ値に振り分け、当該正のアナログ値を前記同一軸方向に配置された一方の駆動電極に対応する制御値とし、当該負のアナログ値を他方の駆動電極に対応する制御値とすることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 0 】

(付記 7) 付記 6 に記載の制御装置であって、

前記第 1 および第 2 共振成分除去部のデジタルフィルタに代えて、前記第 1 および第 2 ミラー駆動部における D/A 変換後の制御信号に含まれる前記共振周波数成分を除去するアナログフィルタを設けたことを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 1 】

(付記 8) 付記 2 に記載の制御装置であって、

前記第 1 共振成分除去部は、前記比較制御部から前記第 1 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記第 1 ミラーアレイ上のすべ

てのティルトミラーに対応して共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去し、

前記第 2 共振成分除去部は、前記比較制御部から前記第 2 ミラー駆動部に送られる制御信号に含まれる前記共振周波数成分を、前記第 2 ミラーアレイ上のすべてのティルトミラーに対応して共用化された帯域阻止フィルタを用いて除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 2 】

(付記 9) 付記 1 に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、前記第 1 および第 2 ミラーアレイ上のすべてのティルトミラーについて、第 1 の軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して共用化されると共に、前記第 1 の軸方向とは異なる第 2 の軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して共用化された構成であることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 3 】

(付記 1 0) 付記 1 に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、前記共用化された構成ごとに、前記ティルトミラーの共振周波数のばらつきに対応した阻止帯域幅を有する帯域阻止フィルタを備えたことを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 4 】

(付記 1 1) 付記 1 0 に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、同じ特性を有する複数の帯域阻止フィルタを直列に接続した回路を備えたことを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 5 】

(付記 1 2) 付記 1 に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、バターワース型の帯域阻止フィルタを用いて、前記制御信号に含まれる共振周波数成分を除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【 0 0 8 6 】

(付記 1 3) 付記 1 に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、チェビシェフ型の帯域阻止フィルタを用いて、前記制

御信号に含まれる共振周波数成分を除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0087】

(付記14) 付記1に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、楕円関数型の帯域阻止フィルタを用いて、前記制御信号に含まれる共振周波数成分を除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0088】

(付記15) 付記1に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、前記ティルトミラーの共振周波数に対応したカットオフ周波数を持つローパスフィルタを用いて、前記制御信号に含まれる共振周波数成分を除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0089】

(付記16) 付記2に記載の制御装置であって、

前記比較制御部は、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一对の駆動電極について、一方の駆動電極から他方の駆動電極に制御対象が切り替えられるとき、一方の駆動電極を非駆動状態にする制御信号を前記共振成分除去部を介して対応する前記ミラー駆動部に与えた後に、他方の駆動電極を駆動状態にする制御信号を前記共振成分除去部を介して対応する前記ミラー駆動部に与えることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0090】

(付記17) 付記1に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、前記共用化された構成ごとに、伝達関数が互いに異なる複数の帯域阻止フィルタを有し、前記ティルトミラーの駆動電極に印加すべき駆動電圧に応じて、前記複数の帯域阻止フィルタのうちの少なくとも1つを選択して、前記制御信号に含まれる共振周波数成分を除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0091】

(付記18) 付記17に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、初期立ち上げ時およびフィードバック制御時に応じて、前記複数の帯域阻止フィルタの選択を行うことを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0092】

(付記19) 付記1に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、前記共用化された構成ごとに、伝達関数を変化させることが可能な帯域阻止フィルタを有し、前記ティルトミラーの駆動電極に印加すべき駆動電圧に応じて、前記帯域阻止フィルタの伝達関数を変化させて、前記制御信号に含まれる共振周波数成分を除去することを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0093】

(付記20) 付記19に記載の制御装置であって、

前記共振成分除去部は、初期立ち上げ時およびフィードバック制御時に応じて、前記帯域阻止フィルタの伝達関数を変化させることを特徴とする光信号交換器の制御装置。

【0094】

(付記21) 反射面の角度が制御可能な複数のティルトミラーを平面上に配置した第1ミラーアレイおよび第2ミラーアレイを有し、入力された光信号を前記第1および第2ミラーアレイで順次反射して特定の位置から出力する光信号交換器について、該特定の位置から出力される光信号のパワーを検出し、該検出結果に基づいて、前記第1および第2ミラーアレイ上の前記光信号を反射したティルトミラーのうちの少なくとも一方の反射面の角度をフィードバック制御する制御方法であって、

前記フィードバック制御のために用いられる制御信号に含まれる前記ティルトミラーの機械的な共振動作に対応した周波数成分を、前記ティルトミラーの同一軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して少なくとも共通に除去することを特徴とする光信号交換器の制御方法。

【0095】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明にかかる光信号交換器の制御装置および制御方法によれば、ティルトミラーの駆動制御において、各ティルトミラーの同一軸方向に存在する一対の駆動電極のうち的一方にのみ駆動電圧を与えることでミラーの角度が傾けられることを考慮し、第1および第2ミラーアレイ上の各ティルトミラーの同一軸方向に配置された一対の駆動電極に対応して少なくとも共用化された共振成分除去部により、制御信号に含まれる共振周波数成分が除去されるようになるため、回路規模の増大を抑えながら、ティルトミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減することができる。これにより、光信号交換器から出力される各チャネルの光信号パワーを安定に制御することが可能になる。また、光信号交換器における入出力チャネルの切り替えを確実に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による光信号交換器の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】図1の制御装置を適用した光信号交換器の全体構成を示す概略図である。

【図3】上記の第1実施形態における共振成分除去部の動作を説明するための図である。

【図4】本発明の第2実施形態による制御装置の共振成分除去部およびMEMSミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第3実施形態による制御装置の共振成分除去部およびMEMSミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

【図6】上記の第3実施形態におけるデジタルコードを割り振りを説明するための図である。

【図7】本発明の第4実施形態による制御装置の共振成分除去部およびMEMSミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

【図8】上記の第4実施形態に関連した応用例の構成を示す図である。

【図9】本発明の第5実施形態による制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 0】上記の第 5 実施形態におけるデジタルフィルタの具体的な構成を示すブロック図である。

【図 1 1】上記の第 5 実施形態におけるデジタルフィルタの動作を説明するためのタイムチャートである。

【図 1 2】本発明の第 1 ～第 5 実施形態におけるドライバの切り替え時の駆動波形の一例を示す図である。

【図 1 3】本発明の第 6 実施形態におけるドライバの切り替え時の駆動波形の一例を示す図である。

【図 1 4】上記の第 6 実施形態における制御動作を説明するためのフローチャートである。

【図 1 5】上記の第 6 実施形態に関連してドライバの切り替えが不要な場合における駆動波形の一例を示す図である。

【図 1 6】本発明の第 7 実施形態による制御装置の要部構成を示すブロック図である。

【図 1 7】本発明の第 8 実施形態による制御装置の共振成分除去部および MEMS ミラー駆動部の要部構成を示すブロック図である。

【図 1 8】上記の第 8 実施形態における高速デジタルフィルタの AC 特性の一例を示す図である。

【図 1 9】上記の第 8 実施形態において各デジタルフィルタで処理された制御信号に従ってドライバを駆動したときの応答特性の一例を示す図である。

【図 2 0】上記の第 8 実施形態において MEMS ミラーおよびデジタルフィルタの伝達関数を組み合わせたときの応答特性の一例を示す図である。

【図 2 1】上記の第 8 実施形態に関連した応用例の要部構成を示すブロック図である。

【図 2 2】上記の第 8 実施形態に関連した他の応用例の要部構成を示すブロック図である。

【図 2 3】一般的な 3 次元型の光信号交換器の構成例を示す斜視図である。

【図 2 4】光信号交換器内の光損失を最小にするための従来の制御装置の構成例を示すブロック図である。

【図 2 5】 図 2 4 に示した従来の制御装置の具体的な構成の一例を示す図である。

【図 2 6】 一般的なMEMSミラーの駆動状態を模式的に示した図である。

【図 2 7】 一般的なMEMSミラーの共振動作を説明するための図である

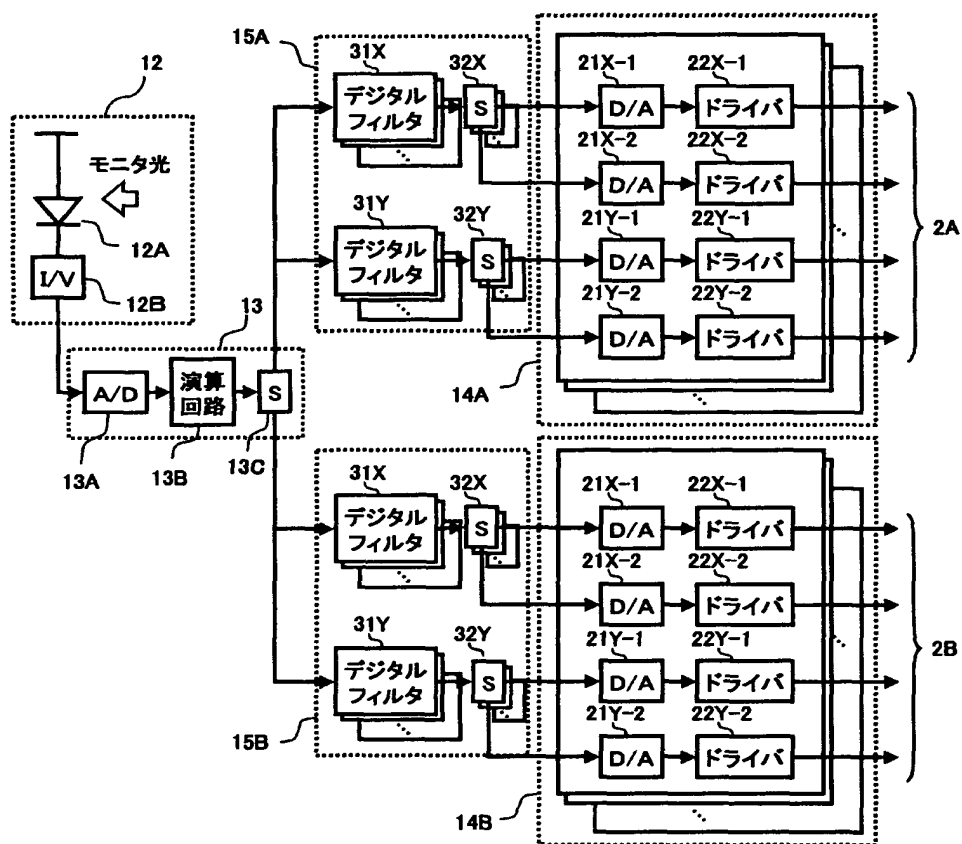
【符号の説明】

- 1 A, 1 B コリメータアレイ
- 2 A, 2 B MEMSミラーアレイ
- 1 0 A, 1 0 B 光ファイバアレイ
- 1 1 光カップラアレイ
- 1 2 光パワー検出部
- 1 2 A 光検出器
- 1 2 B I / V変換器
- 1 3 比較制御部
- 1 3 A A / D変換器
- 1 3 B 演算回路
- 1 3 C, 3 2 セレクタ
- 1 4 A, 1 4 B MEMSミラー駆動部
- 1 5 A, 1 5 B 共振成分除去部
- 1 6 A, 1 6 B, 3 1 X, 3 1 Y デジタルフィルタ
- 1 6 a 前段メモリ
- 1 6 c 後段メモリ
- 1 7 変化量検出部
- 2 1 D / A変換器
- 2 2 ドライバ
- 2 2 a 非反転半波整流回路
- 2 2 b 反転半波整流回路

【書類名】 図面

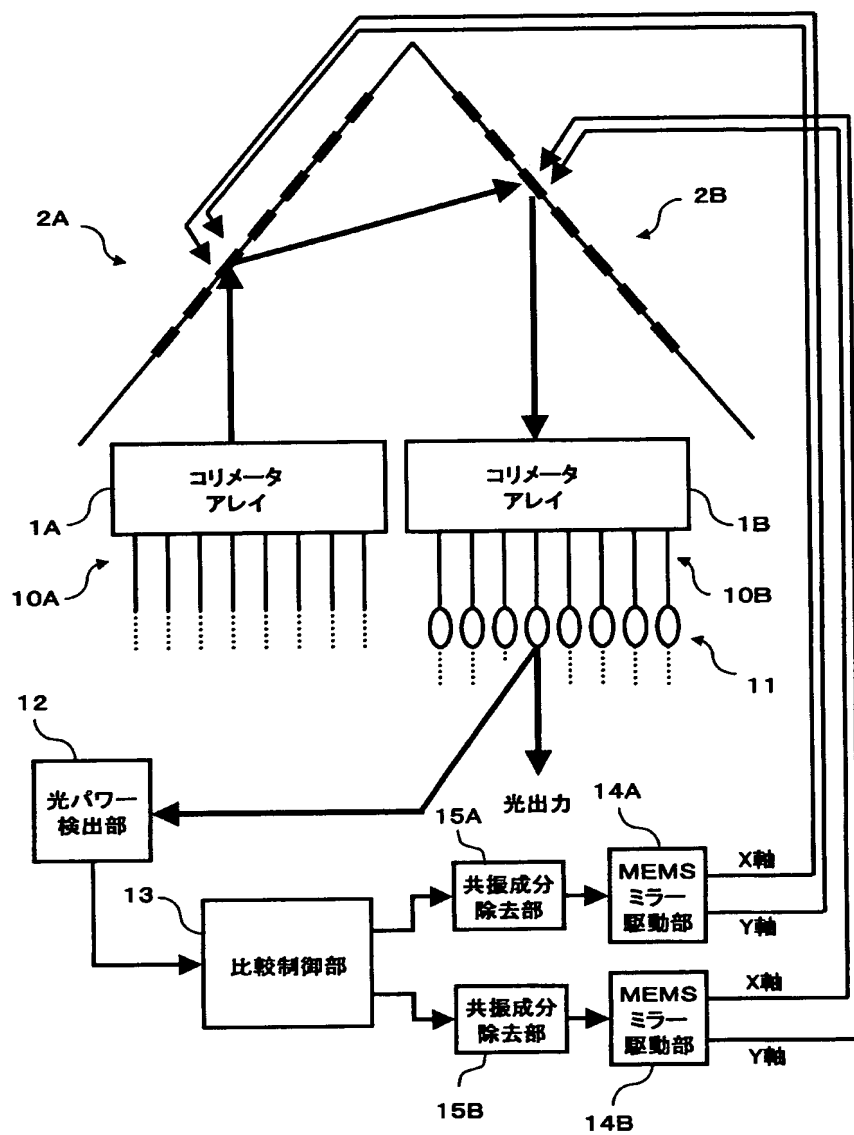
【図 1】

本発明の第1実施形態による制御装置

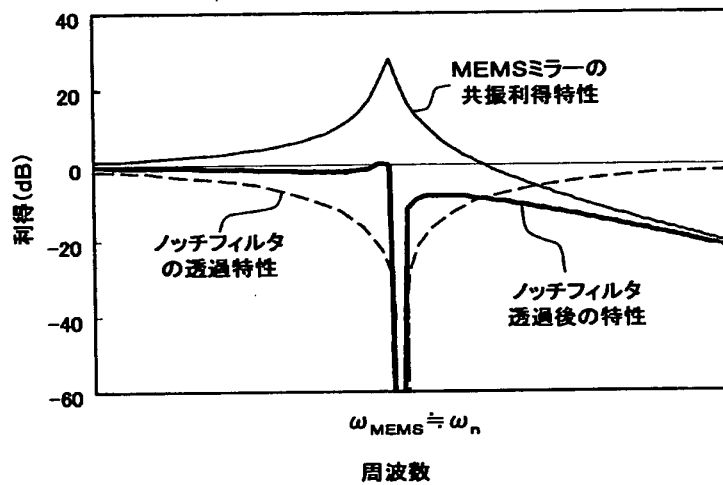


【図 2】

本発明の制御装置を適用した
光信号交換器の全体構成

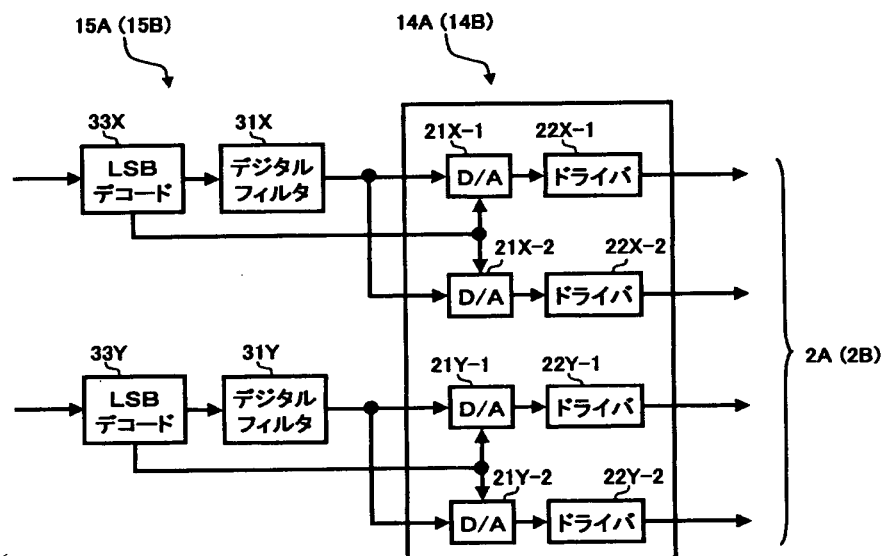


【図 3】

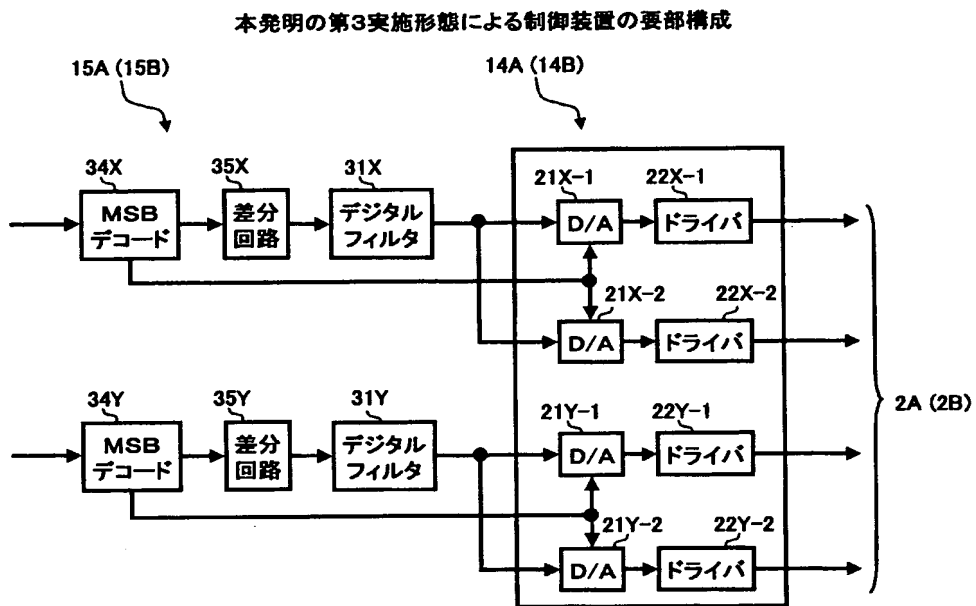


【図 4】

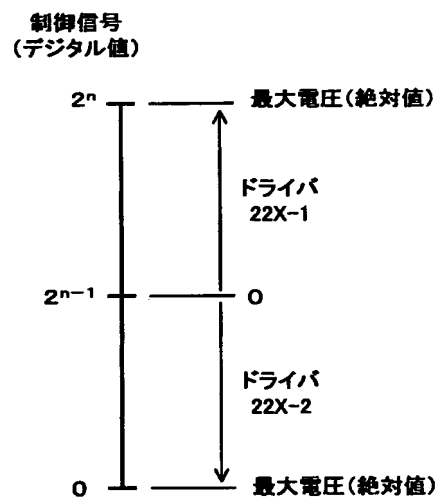
本発明の第2実施形態による制御装置の要部構成



【図 5】

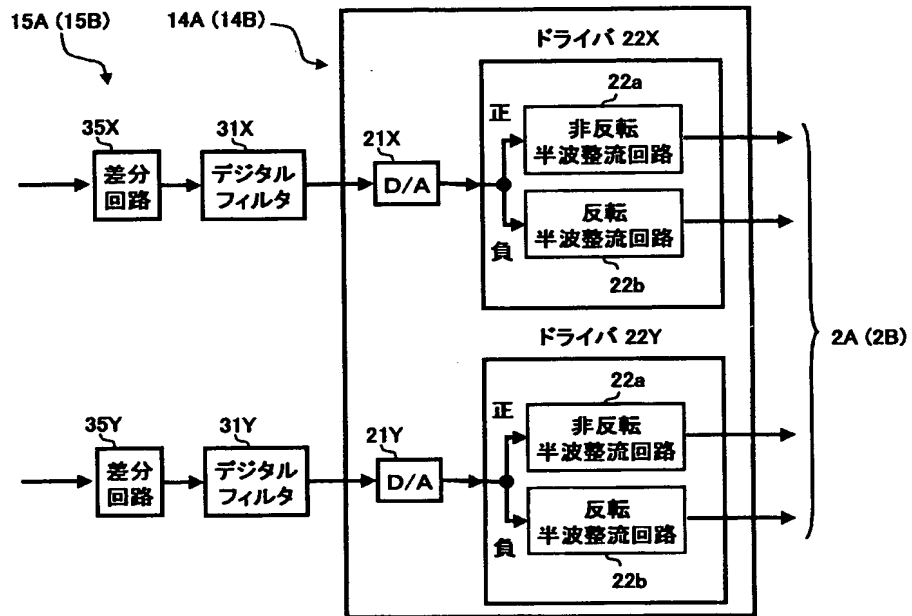


【図 6】



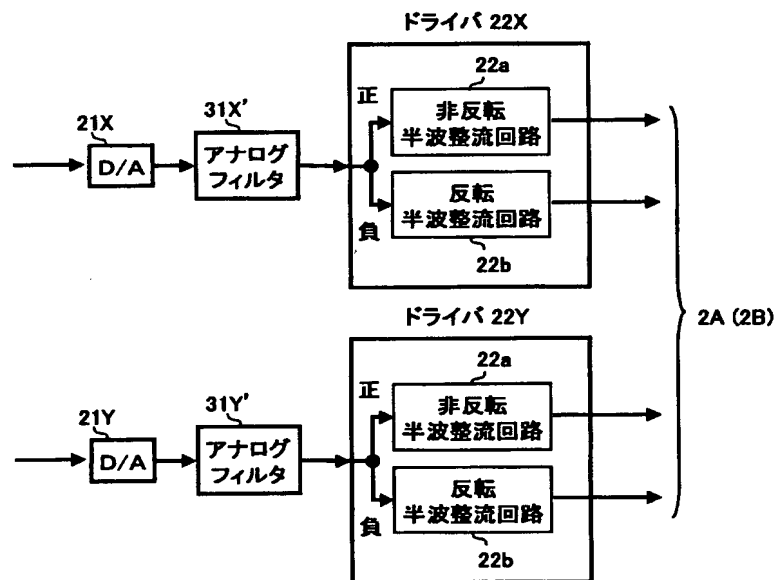
【図 7】

本発明の第4実施形態による制御装置の要部構成



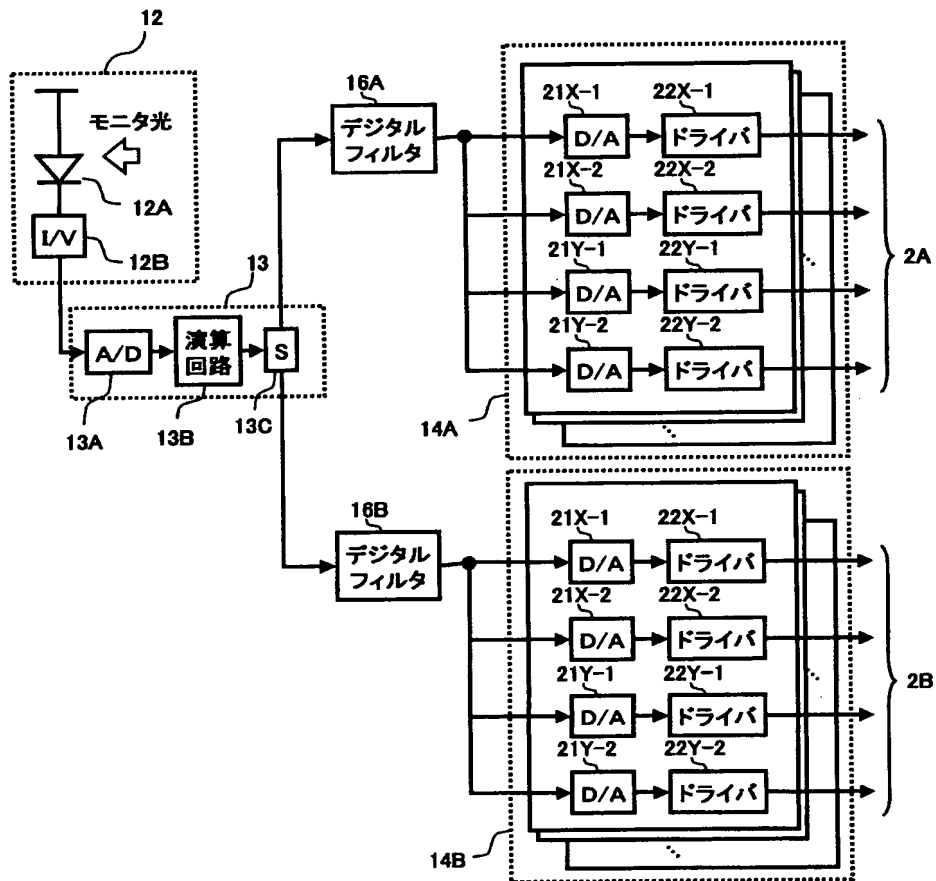
【図 8】

第4実施形態の応用例

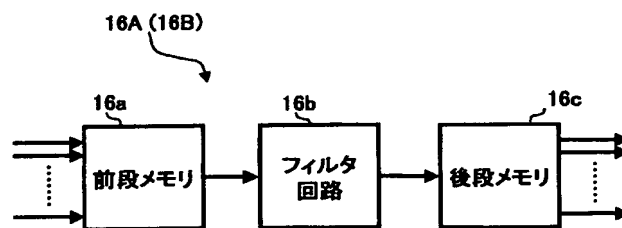


【図 9】

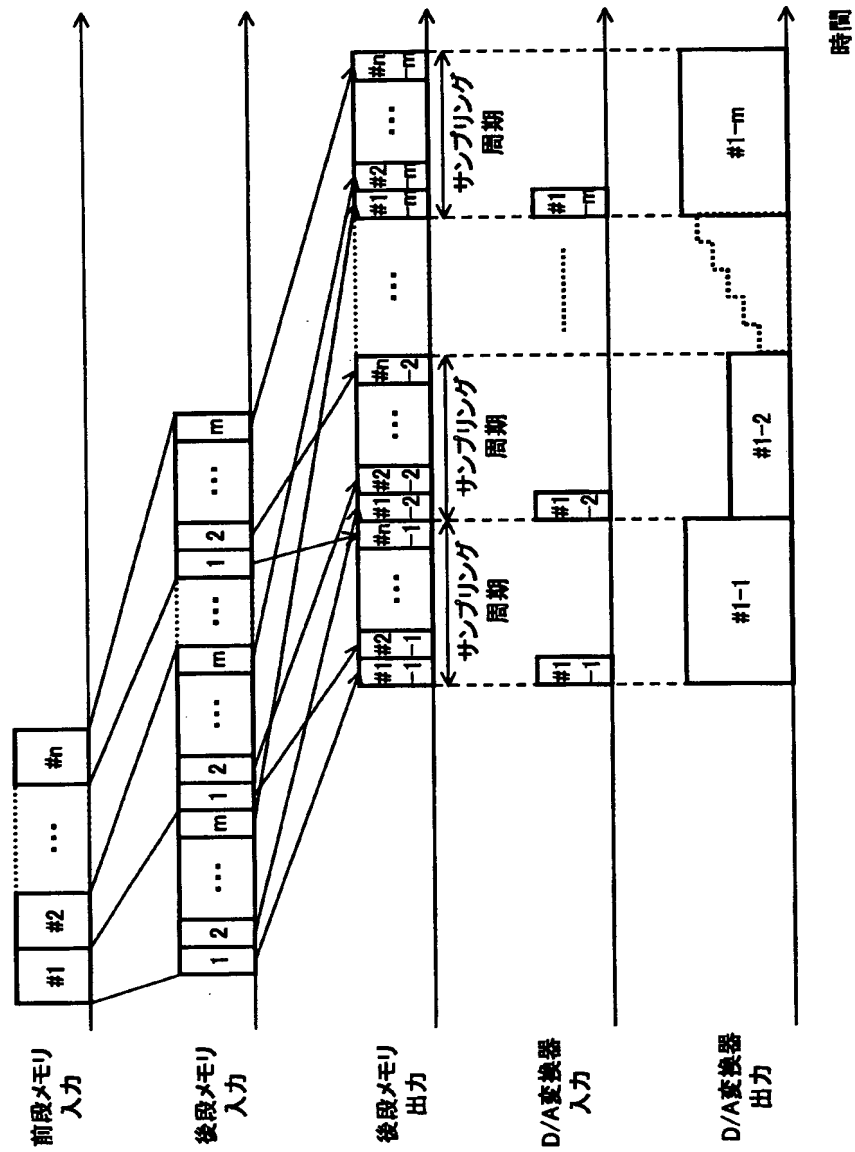
本発明の第5実施形態による制御装置



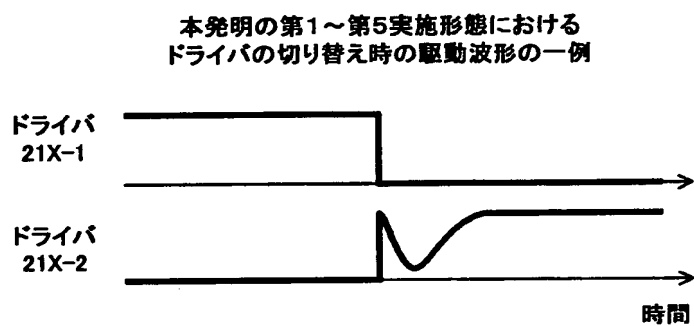
【図 1 0】



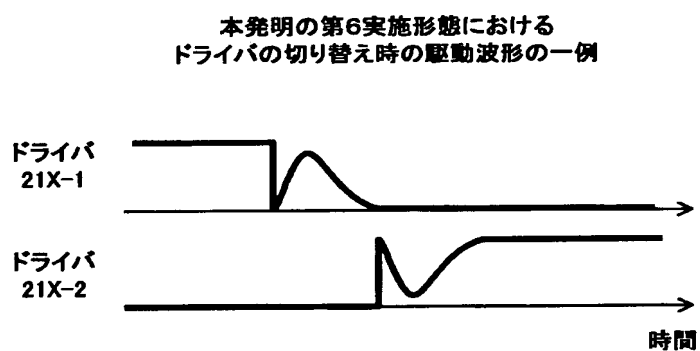
【図 1 1】



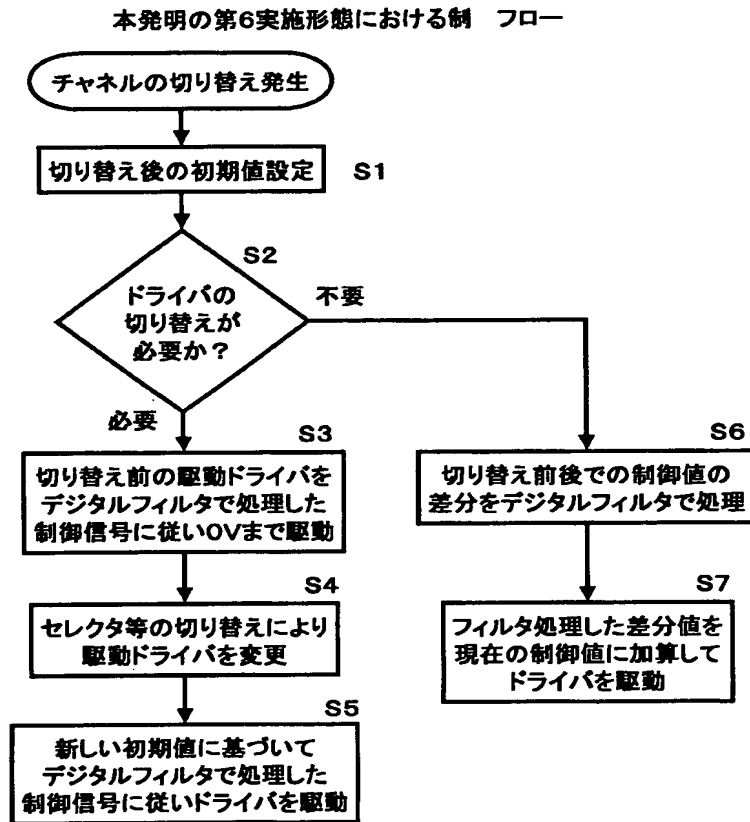
【図 1 2】



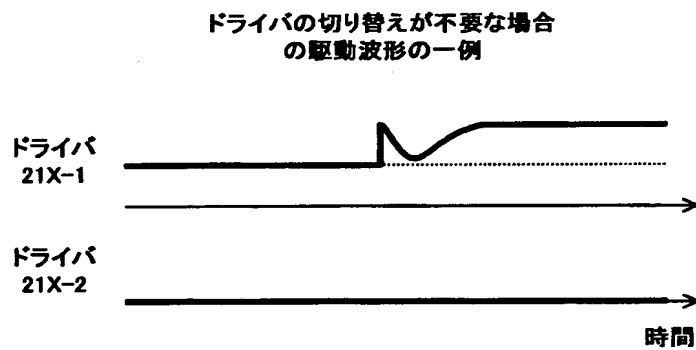
【図 1 3】



【図 1 4】

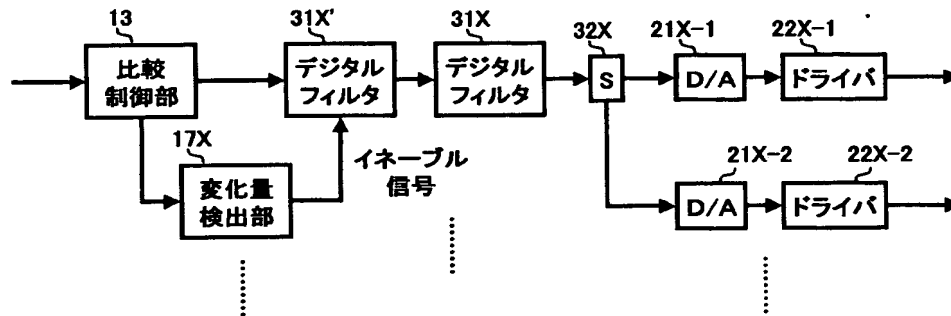


【図 1 5】



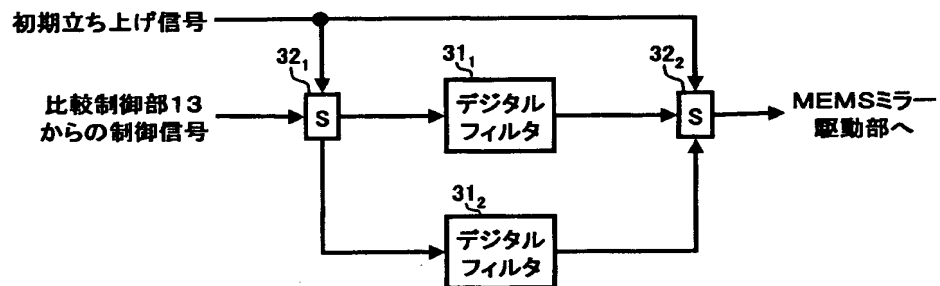
【図 1 6】

本発明の第7実施形態による制御装置の要部構成

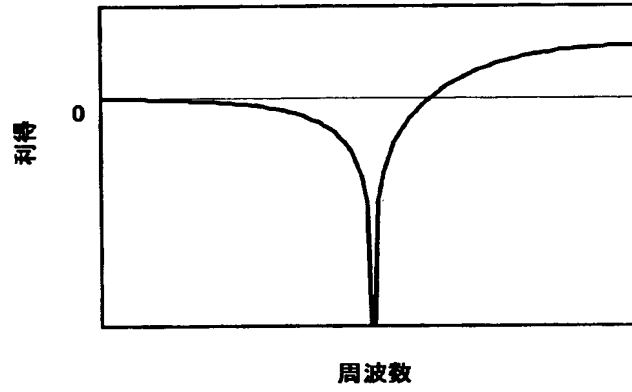


【図 1 7】

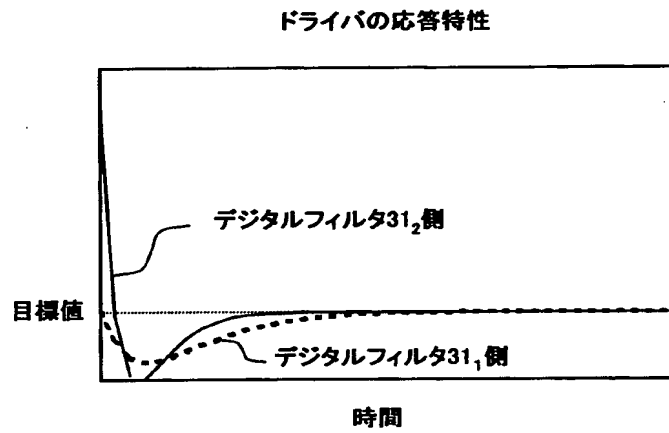
本発明の第8実施形態における共振成分除去部の要部構成



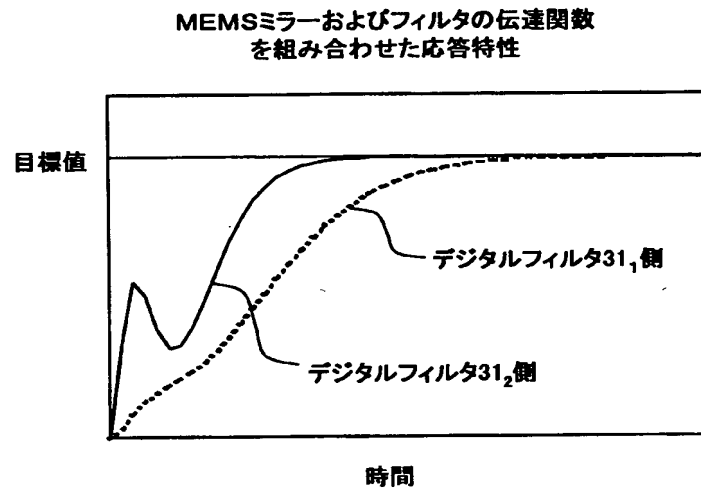
【図 1 8】



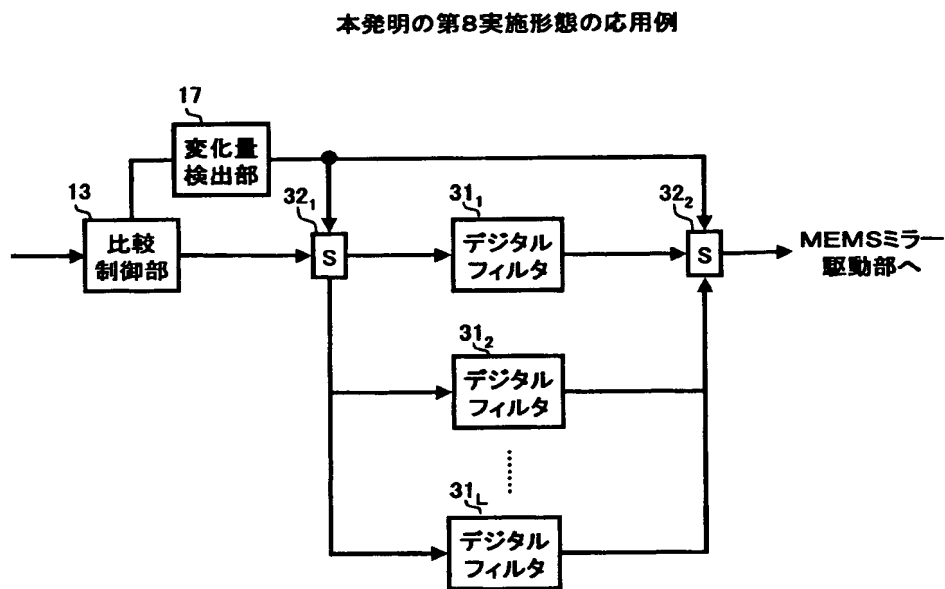
【図 1 9】



【図 2 0】

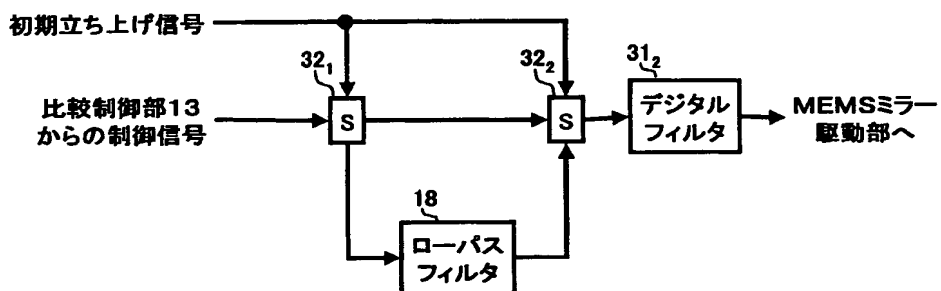


【図 2 1】



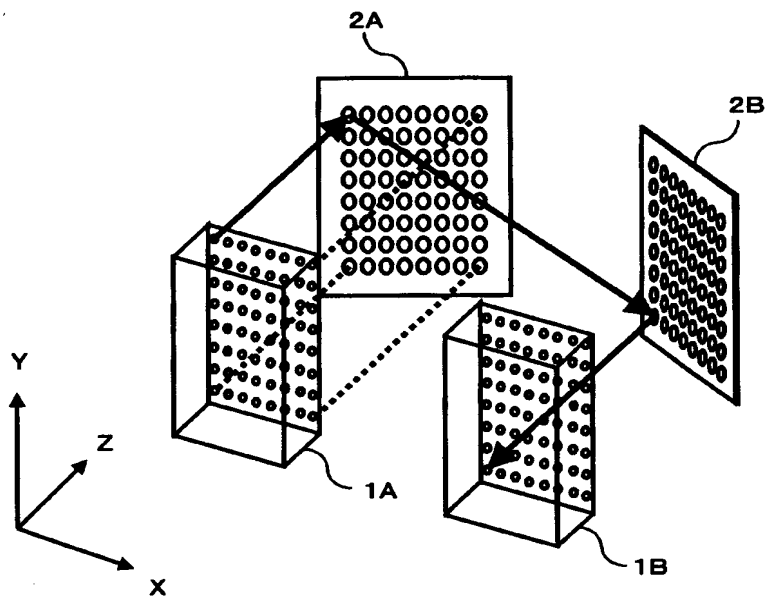
【図 2 2】

本発明の第8実施形態の他の応用例



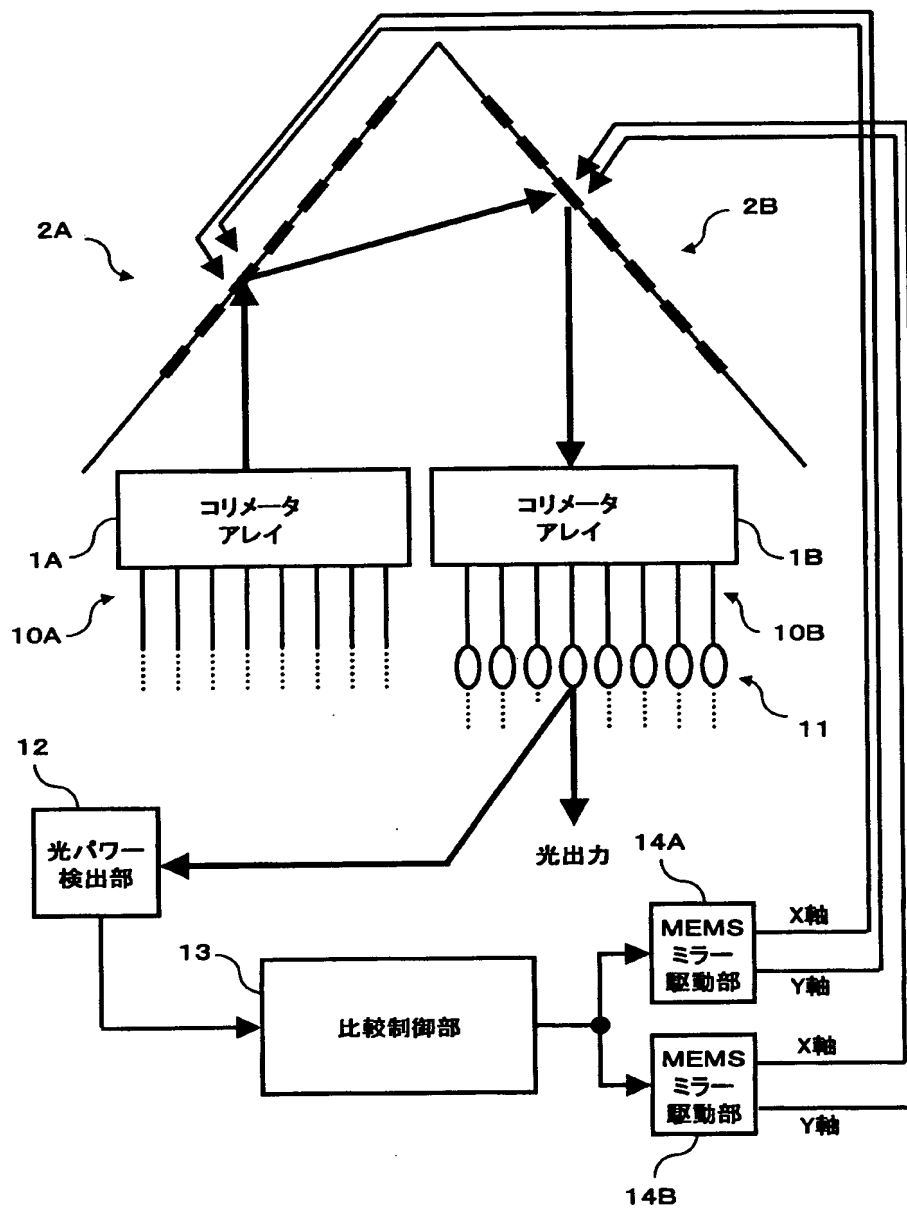
【図 2 3】

一般的な3次元型の光信号交換器の構成例



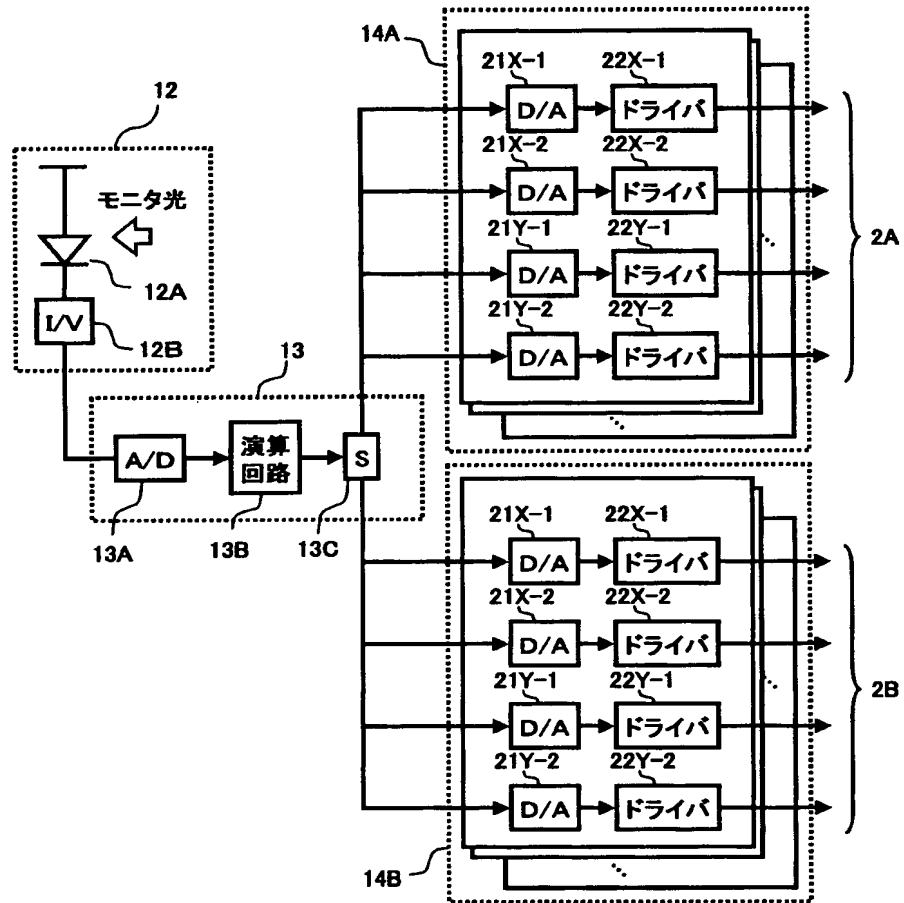
【図 24】

光損失を最小にする制御装置の構成例

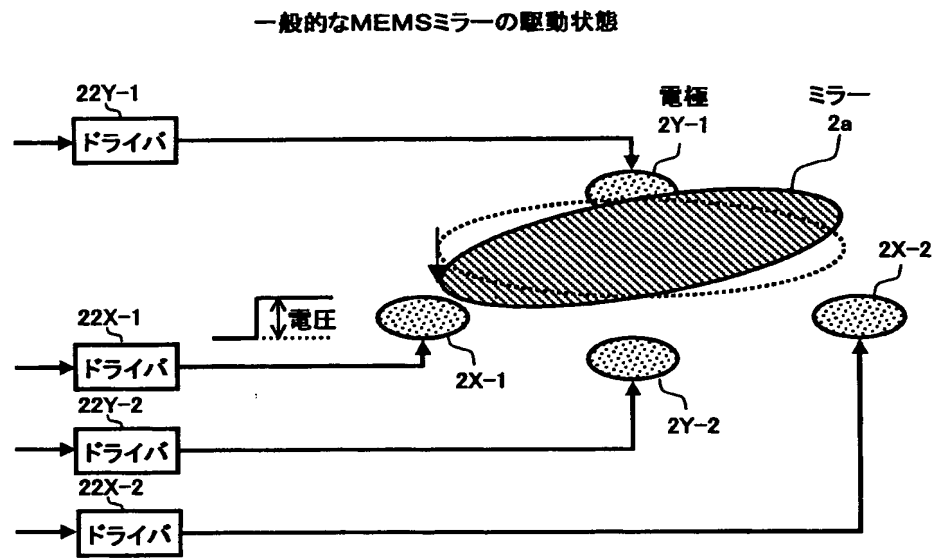


【図 2 5】

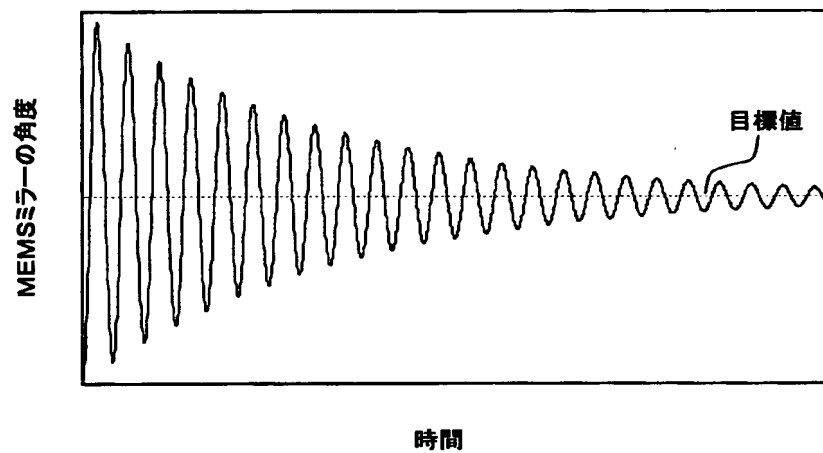
従来の制御装置の具体的な一例



【図 2 6】



【図 2 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ティルトミラーの機械的な共振による制御への影響を抑えて、光信号交換器における光路の切り替えを安定して行うことのできる簡略な構成の制御装置および制御方法を提供する。

【解決手段】 本光信号交換器の制御装置は、反射面の角度が制御可能な複数のMEMSミラーを平面上に配置した1組のMEMSミラーアレイを用いた3次元型の光信号交換器について、特定の位置から出力される光信号のパワーを検出して光路上のMEMSミラーの角度をフィードバック制御するとき、制御信号に含まれるに共振周波数成分を除去する共振成分除去部を、MEMSミラーの同一軸方向に配置された一对の駆動電極に対応して共用化した構成とすることにより、回路規模の増大を抑えながら、MEMSミラーの共振動作によるフィードバック制御への影響を低減することができるようになる。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日 1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名 富士通株式会社